861

técnica

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
N.º 861
BIBLIOTECA

417

associação dos estudantes do instituto superior técnico

novembro 1972 revista de engenharia

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

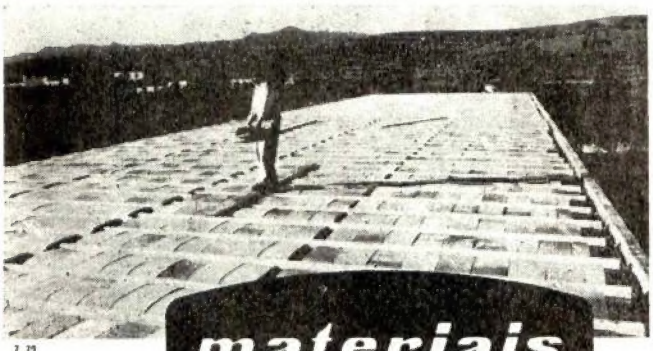
MEXIA HEITOR E BRASÃO FARINHA

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

TÉCNICA
revista da associação dos estudantes do Instituto Superior Técnico
LISBOA

PAVIMENTOS

constituídos por vigotas de betão pré-esforçado (Homologados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil).



materiais novobra

A mais vasta gama em pré-fabricados de betão.

Pavimentos, coberturas, asnas, perfis especiais, «post-esforço Losinger», pontões, vigas de grande vão, pórticos «Crendon», pavimento «Trief», protecção de segurança «Trief», mosaicos, tubos, blocos «Leca», espaçadores de betão, estacas para vinhas e pomares e pré-fabricação total ou parcial.

Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda, Moita, Luanda, Lourenço Marques
Sede: Av. Est. Unidos da América, 100-5o. Dto. – Lisboa-5
Telefones – Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53
Serviços Técnicos: 71 41 16/7/8 - 71 93 31/2

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telefs. 228824/5

Escritório:

Av. Conselheiro Fernando de Sousa, 19, 18.º piso

LISBOA 1 Telef. 65 54 31

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
N.º 861
BIBLIOTECA

BIBLIOTECA DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO LISBOA

BIBLIOTECA IST

técnica

NÚMERO 417 NOVEMBRO DE 1972 ANO XLVII VOLUME XXXV PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
José Toscano

CHEFE DE REDACÇÃO
Francisco Pedroso

ADMINISTRADOR
José de Oliveira Paulo

SECRETÁRIO
António Vieira Pita

REDACTORES
António Mouraz Miranda, Carlos Oliveira Costa, José Sá da Costa, José Simões, Maria João Loureiro da Costa, Maria Teresa Lemos, Rogério Pinto

CONSELHO REDACTORIAL
A. Ferreira dos Santos, A. Rocha Trindade, A. Romão Dias, Aquiles Gomes, Carlos Rosmaninho, Domingos Moura, F. Sousa Marques, H. Nunes Garcia, J. Borges da Silva, J. Brazão Farinha, J. P. Figanier, L. Aires - Barros, L. Borges Teixeira

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 73 15 49

PROPRIETÁRIO
A. E. I. S. T.

★

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e Ilhas	95$00	180$.
Ultramar, Brasil Espanha	100$00	190$.
Estrangeiro	—	200$.
Número avulso ...	—	25$.

Não se publica em Agosto e Setembro

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

★

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO NA
MOVIGRÁFICA
Rua do Espírito Santo, 19 - A Odivelas

SUMÁRIO

57 — J. J. DELGADO DOMINGOS — *A crise do ambiente.*
The environmental crisis.

65 — L. AIRES - BARROS — *Análise laboratorial da influência da granularidade na alterabilidade das rochas.*
Laboratory test on the influence of the granularity on the rock alterability.

71 — MANUEL AMÉRICO GONÇALVES DA SILVA — *Resposta elástica duma laje circular.*
Elastic response of a circular slab.

79 — J. F. BORGES DA SILVA — *Algoritmo para a análise topológica de redes.*
Algorithm for the topological analysis.

87 — ACÁCIO DA CONCEIÇÃO — *Protecção de depósitos e outras estruturas em betão por meio de revestimento.*
Protection of stores and other reinforced concrete structures by means of coatings.

97 — JOÃO REIS SIMÕES — *Formas matriciais no cálculo de afinores* (II).
Matricial forms in the affinors calculus (II).

101 — C. A. NIETO DE CASTRO, M. NUNES DA PONTE e V. A. MEIRA SOARES — *Aplicações do método de Monte - Carlo ao estudo de fluídos densos.*
Applications of Monte - Carlo method to the study of dense fluids

BIBLIOGRAFIA

CAPA — Conforme anunciado no último número apresentamos um artigo de carácter genérico sobre a degradação do meio ambiente. A abordagem científica deste assunto tem òbviamente o maior interesse. E pode contribuir para a construção de um «planeta» diferente, onde o problema esteja superado.

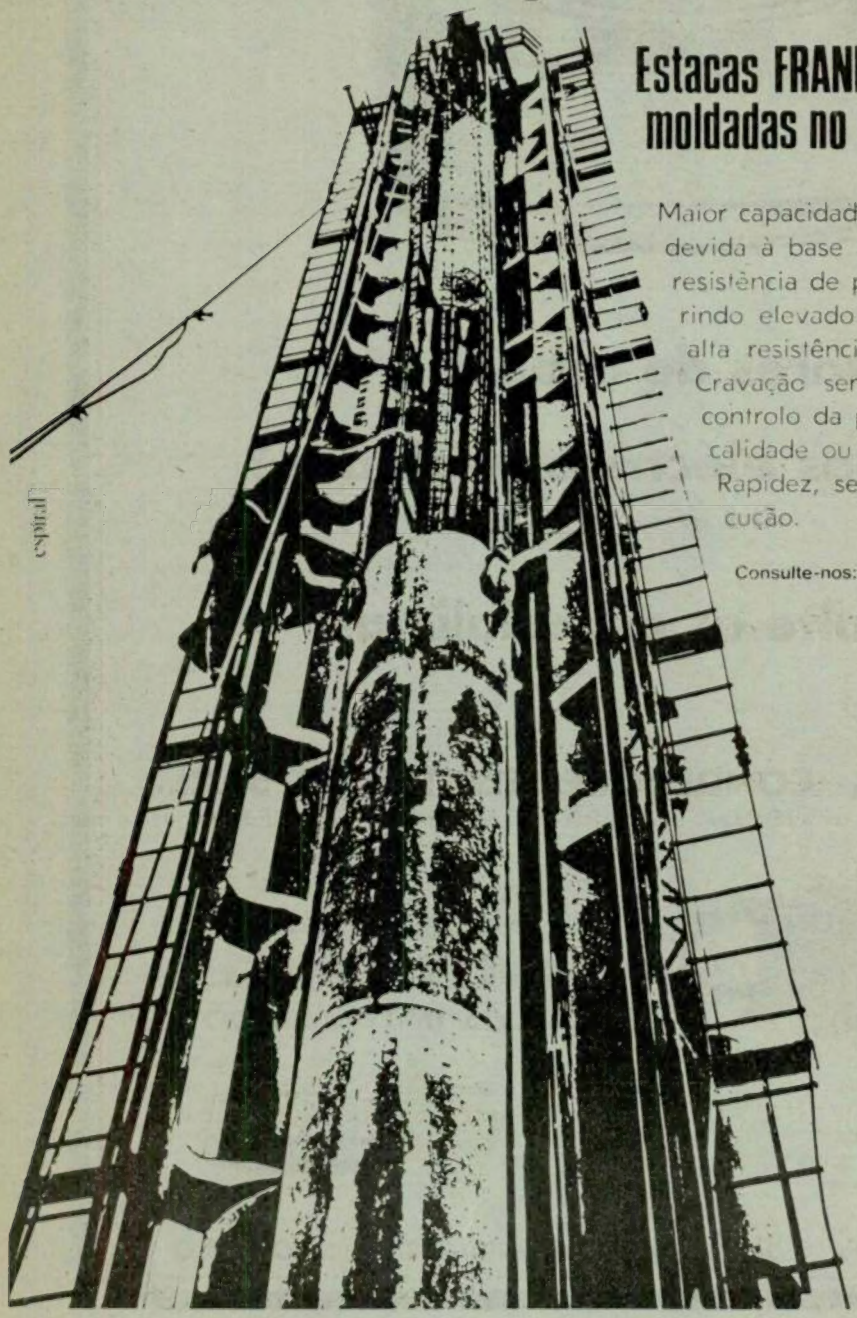
INDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
Aguiar & Melo, Lda.	XXI
Argilex	XXII
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XV
EFACEC	XII
Eficex Kienzle	IV
Electro-Arco, Lda.	XXII
Empresa de Cimentos de Leiria	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	IV e VIII
Harker Sumner	XIX
Heliaço	2.ª da capa
Johann Keller	VI
J. F. Azevedo e Silva	VII
J. Roma	XIV
Jomatel	XX
Lecabetão	XX
Livros Técnicos	V
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida	XIV
Novobra, Lda.	2.ª da capa
SEPSA	
Siemens	4.ª da capa
Sociedade Portuguesa Cavan	XIV
S. K. F. Lda.	XVIII
SOLIDAL	II
Sondagens e Fundações A. Cavaco	V
Sondagens Ródio, Lda.	VI
Sopecate	XIV
Standard Eléctrica	IX
Wild Portugal, Lda.	III

Colaboraram neste número as seguintes Agências de Publicidade:

P. G. SEELOW & ASSOCIADOS, LDA., PUBLIMPAR, SÉRIO, MIRA, ESTÚDIO TÉCNICO DE PUBLICIDADE

uma base que lhe garante a segurança de uma técnica experimentada.

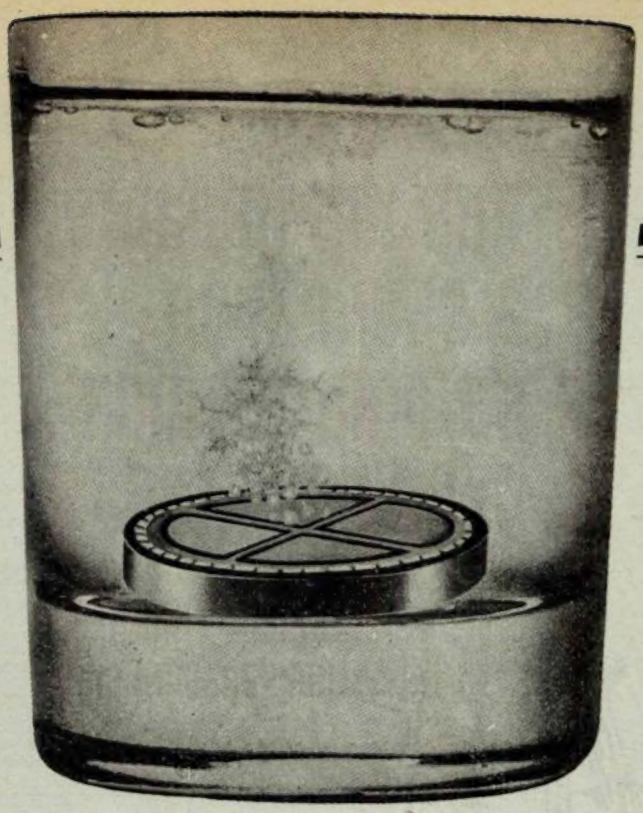


Estacas FRANKI, moldadas no solo.

Maior capacidade de carga das estacas Franki devida à base alargada assegurando grande resistência de ponta, ao fuste rugoso conferindo elevado atrito lateral e ao betão de alta resistência por apiloamento enérgico. Cravação sem extracção do terreno com controlo da profundidade a atingir. Verticalidade ou inclinações do máximo rigor. Rapidez, segurança e economia de execução.

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL

FRANKI



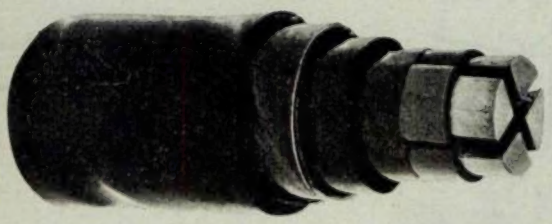
Dores de cabeça

com cabos eléctricos isolados?

Consulte os especialistas

SOLIDAL **CONDUTORES ELÉCTRICOS, SARL.**

LISBOA — PORTO — ESPOSENDE (Fábrica)



CABOS ISOLADOS

SOLIDAL

ALUMÍNIO MACIÇO

ASSISTÊNCIA TÉCNICA

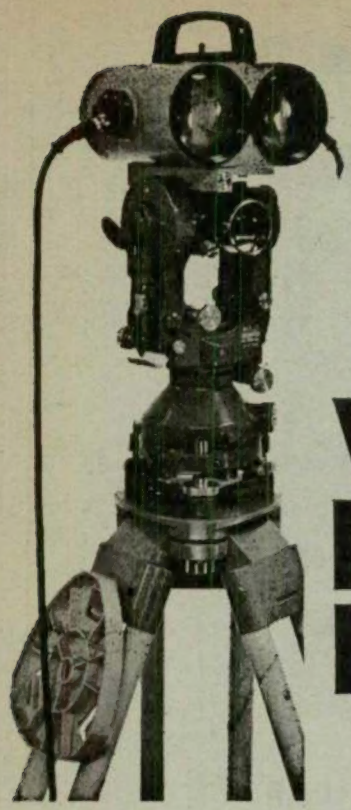
AWCO-ALUMINIUM WIRE AND CABLE, CO. LTD.

BRITAIN'S LARGEST MANUFACTURER OF ALUMINIUM CABLES

SOLIDAL CONDUTORES ELÉCTRICOS

SÉRIO adapt.

ECONOMIAS NA AQUISIÇÃO - MONTAGEM - LIGAÇÃO



Agora

para distâncias

até 2000 m

WILD DISTOMAT DI 10

O mais recente modelo do único aparelho de medição de distâncias, por infra-vermelhos, em serviço desde 3 anos, permite alcance até 2000 m e é adaptável aos teodolitos WILD T1A, T16 e T2.

Esta combinação é a ideal para poligonações, levantamentos por radiação e para implantações.

Economiza	**tempo, trabalho, dinheiro**
Aumenta	**precisão, rendimento, lucro**
Aprovado	**desde 3 anos em toda a parte do mundo**
Garantido	**pelos nossos serviços técnicos**

WILD
HEERBRUGG

Solicitem prospecto detalhado ou demonstração aos representantes exclusivos

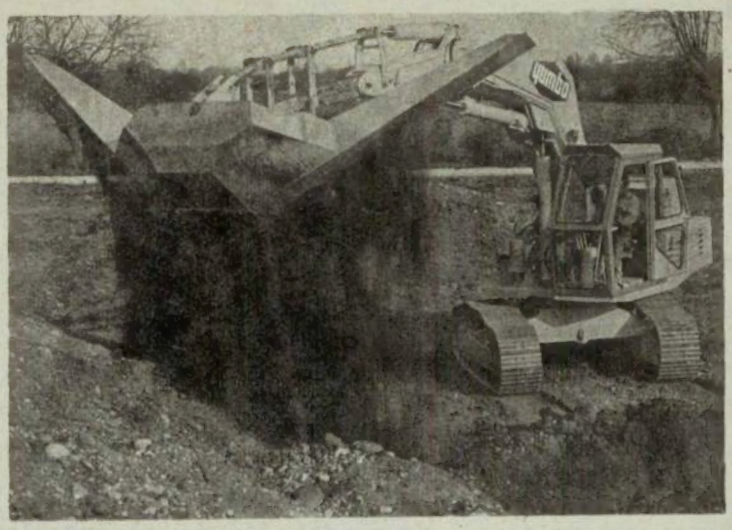
WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8 * TEL. 68 91 12 * LISBOA-2

ESCAVADORAS HIDRÁULICAS
S/RODAS — S/LAGARTAS

— ENTREGAS IMEDIATAS

yumbo



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDAL - Guedes & Almeida, Lda.

R. ÁUREA, 181-2.º • LISBOA-2 • TEL. 32 50 80

R. ALFREDO CUNHA, 538 • MATOSINHOS • TEL. 93 45 62

CALCULAR...

...instantâneamente, silenciosamente, com economia e segurança.

...programa de calculadores electrónicos de CASIO COMPUTER, Co. LTD TÓKYO-JAPÃO

...diversos modelos com as mais evoluídas características para toda a espécie de cálculos.

Demonstrações sem compromisso

-12 Modelos diferentes.

- 1 Programável.

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

EFICEX KIENZLE LISBOA: Av. João XXI, 4A-tels 727028-727019

DISTRIBUIDORES NO NORTE:

HORBE.LDA PORTO: Rua Faria Guimarães, 105 - tel. 4 33 46

Dimensionamento de Secções de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples de secções rectangulares simplesmente armadas
— Flexão simples de secções rectangulares duplamente armadas
a) com armadura de compressão reduzida
b) com armadura de tracção reduzida
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Compressão simples
— Flexão composta de secções rectangulares
a) com armadura simétrica
b) com armadura de tracção reduzida
c) com armadura de compressão reduzida
— Flexão composta desviada de secções rectangulares
— Flexão composta de secções em T
a) com armadura de tracção reduzida
b) comarmadura de compressão reduzida
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas
— Esforço transverso

Preço 150$00

Dimensionamento de Secções Circulares de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas

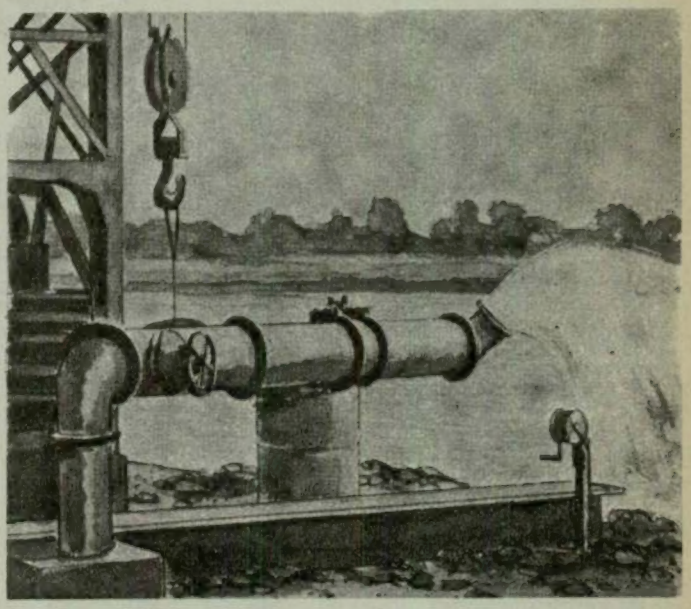
Preço 60$00

Por J. M. MADEIRA COSTA

ENG.º CIVIL

À venda na TÉCNICA e nas LIVRARIAS

Água: eis o que lhe oferecemos!



- Pesquisas e captações de água
- Estudos hidrogeológicos
- Sondagens e Fundações
- Rebaixamento de níveis aquíferos

ACAVACO

R. Rodrigo da Fonseca, 62, r. c-Esq. - Lisboa-1
Tel. 56 11 71/2/3/4

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa

No Norte: **SCIAL** — R. António Feliciano de Castilho, 1126 — Telef. 97 09 32 — Areosa — Porto

SONDAGENS RODIO, LD.

R. S. Bento, 644 - 3.º
LISBOA

TELEFONE: 68 80 96

PORTO
LUANDA
BEIRA

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

JF

PUBLIMPAR

PARA TENSÕES ATÉ 30 kV

Painéis pré-fabricados, de chapa de aço macio desengordurada e fosfatada por imersão, montados sobre estrutura de perfilados, formando celas individuais, com barramentos de cobre de 30x5mm, apoiados sobre isoladores de porcelana.
Celas de anel e contagem com portas interiores de rede metálica, encravadas mecânicamente com os respectivos equipamentos de seccionamemo.
Construção robusta e compacta.

Outras realizações:

- Caixas e quadros murais diversos
- Quadros normalizados para apartamentos
- Quadros industriais
- Quadros de painel STANDABLOC

Inteiramente projectados e construidos nas nossas oficinas

JF

J.F. DE AZEVEDO E SILVA & C.A L.DA

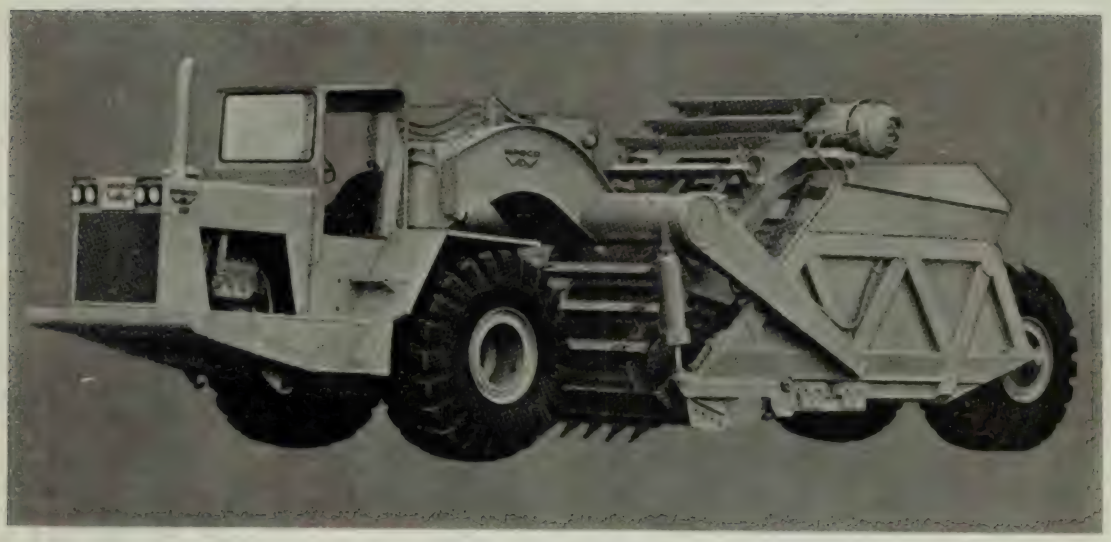
Trv. Fábrica dos Pentes, 8 * Tel. 654165 * LISBOA

WABCO
An American-Standard Company

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADES ATÉ 34 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

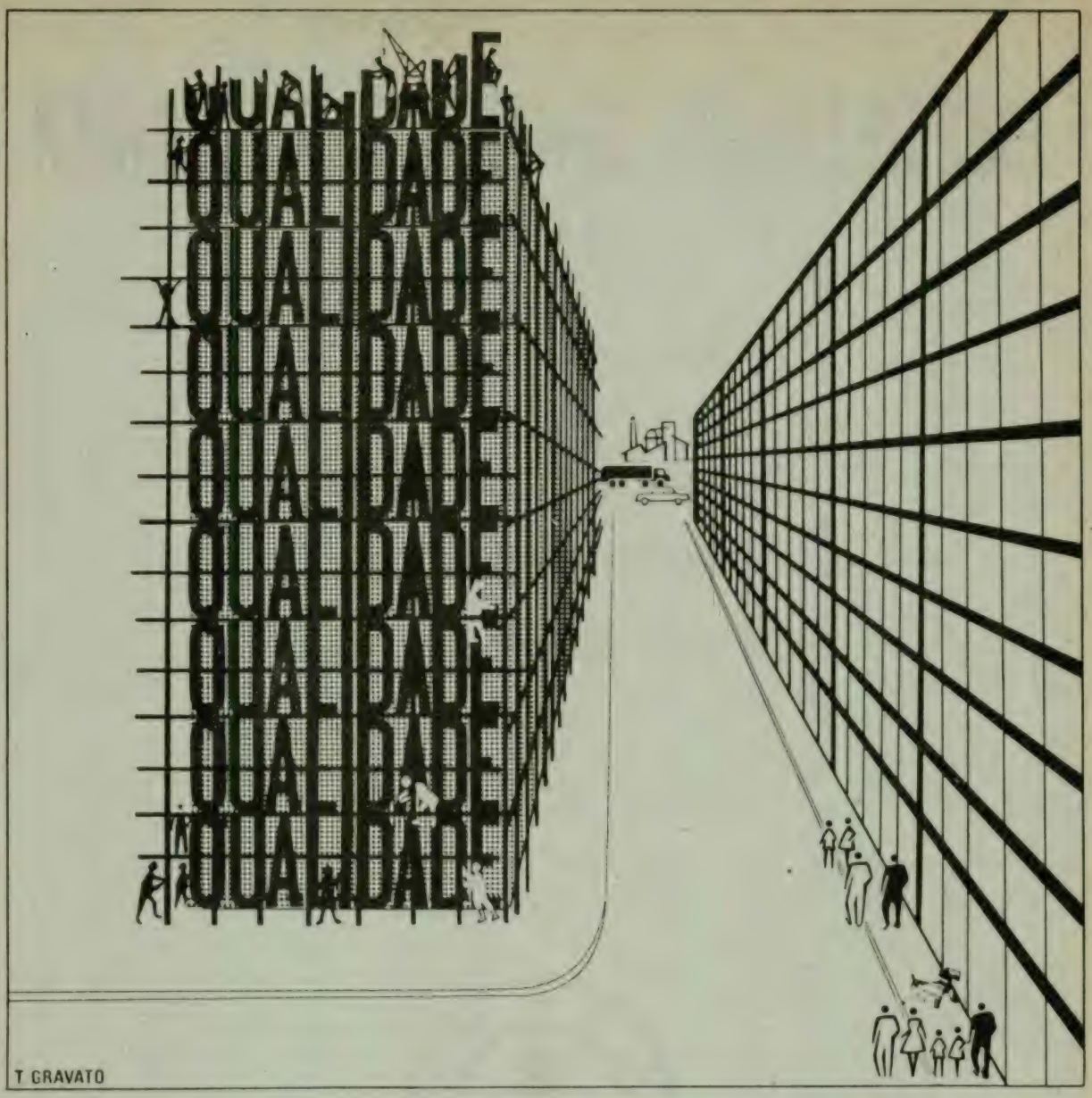


DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDAL - Guedes & Almeida, Lda.

R. ÁUREA, 181-2.° • LISBOA-2 • TEL. 32 50 80

R. ALFREDO CUNHA, 538 • MATOSINHOS • TEL. 93 45 62



O PRESTÍGIO CONSTROI-SE COM QUALIDADE

Não ... não nos dedicamos à construção civil ...
Somos a maior empresa portuguesa dedicada ao fabrico de material de telecomunicação e de electrónica.

A nossa gama de produtos é variadíssima: desde os minúsculos circuitos integrados e transistores até à mais complexa das centrais telefónicas para uso público.

Sim! Todos estes produtos têm algo de comum: — a qualidade, base do prestigio do nosso nome.

Standard Eléctrica **ITT**

EMPREZA DE CIMENTOS DE LEIRIA

S. A. R. L.

CIMENTO PORTLAND NORMAL

CIMENTO SUPER-VULCANO

CIMENTO HIDROFUGADO LIZ-N

CALCINA

CAL HIDRÁULICA

SÍMBOLO DE QUALIDADE

Sede: **Rua Braamcamp, 7 — LISBOA**

Fábrica: **Maceira-Liz**

consulte a:

rustrak

SÉRIE 400

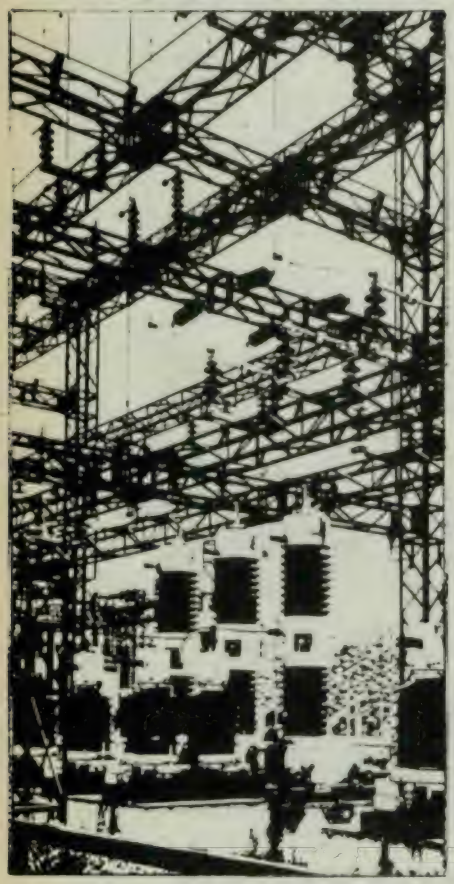
TELECTRA

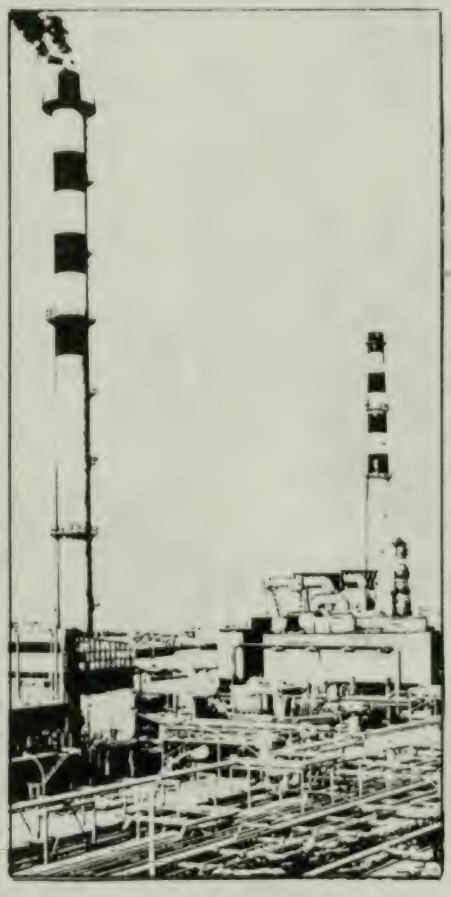
EMPRESA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S. A. R. L.
Sede em Lisboa: Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c. — Telef. PPC (3 linhas) 68 60 72

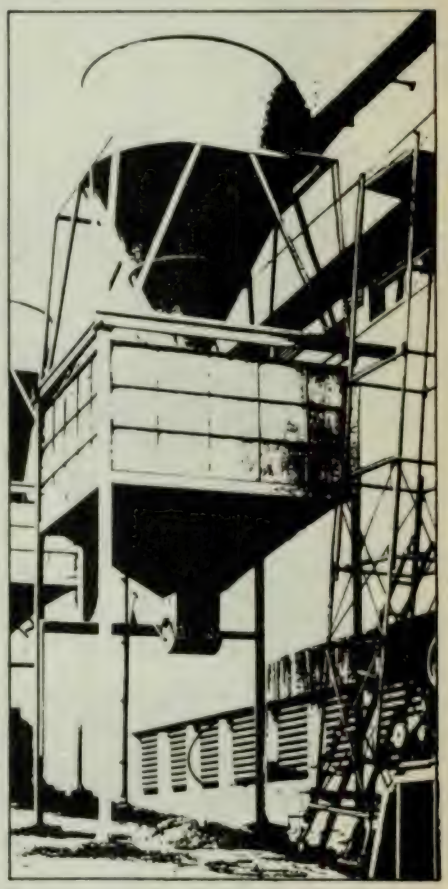
T 3 72

EFACEC

estudo projecto e realização de instalações eléctricas industriais







EFACEC A MAIOR ORGANIZAÇÃO DO PAÍS NO RAMO ELECTROTÉCNICO

técnica

NÚMERO 417 NOVEMBRO DE 1972 ANO XLVII VOLUME XXXV PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 600

A CRISE DO AMBIENTE

J. J. DELGADO DOMINGOS
Professor de Engenharia Mecânica
Divisão de Termodinâmica Aplicada
Instituto Superior Técnico
Lisboa 1, Portugal

RESUMO

Abordam-se discutem-se problemas ligados à crise do ambiente e clarificam-se aspectos e afirmações correntes a partir de princípios fundamentais da Física. As possibilidades e limitações da Tecnologia são perspectivadas. Algumas implicações sociais, económicas e políticas são interpretadas mostrando-se como as questões de evolução e sobrevivência dos povos são marcadamente diferentes consoante o seu poder e grau de desenvolvimento económico.

SUMMARY

Some problems of the environmental crisis are presented and discussed and current statements clarified from fundamental physical principles. Possibilities and limitations of modern technology are discussed. Political, social and economic implications are analysed and it is shown how strongly are the survival possibilities of people connected with its power and economic development.

0 — INTRODUÇÃO

A crise do ambiente ganhou ràpidamente actualidade. Entre nós, o Governo decretou a formação duma Comissão Nacional do Ambiente, depois de ter havido uma Comissão Interministerial durante anos com outro nome mas algumas funções equivalentes que, se nunca deu público relevo às suas decisões e medidas de poluentes, foi certamente porque o problema de níveis perigosos não existia. Mas na outra banda, um sector amortizado duma instalação conhecida é substituido por causa da poluição e informam-nos de que o equipamento ultramoderno irá consideràvelmente reduzir os seus níveis no bairro próximo. Uma conhecida marca de automóveis apregoa que os seus modelos quase não poluem, outras vendem no mercado nacional modelos que poluem bem mais que os que vendem noutros países ou no país de origem porque os regulamentos nacionais a tal obrigam.

No ano transcorrido a Ordem dos Engenheiros sob o impulso da sua Secção de Engenharia Sanitária organizou duas realizações ligadas ao tema, a ONU organizou uma conferência mundial sobre o problema do ambiente, o relatório do M. I. T. elaborado para o Clube de Roma tornou-se um «best seller» e o Sr. S. Manshold, seu ressoador oficial mais qualificado, porque Presidente do Mercado Comum, tornou-se ràpidamente um nome e uma figura popular.

Entre nós, um número considerável de intelectuais considerou o problema como de jornalismo de sensação ou, noutra tendência, como tema de perniciosos efeitos económicos pois que na sua perspectiva combater degradação do meio ambiente seria combater industrialização e desenvolvimento.

Reflectindo um pouco, e abstraindo de ideologias ou credos políticos na medida em que é possível, verificamos que o *conceito actual e generalizado de civilização é sinónimo de progresso material e desperdício* e que tal sucede pela primeira vez na história da humanidade. Que progresso material e desenvolvimento económico são aspirações de todos os povos «civilizados» do mundo. Que os sistemas políticos sempre declaradamente ao serviço do homem e da sua realização plena encontram sempre como prioritário à consecução desses fins o aumento da produtividade do trabalho e o aumento

Lição inaugural do Curso de Extensão Universitária sobre «Dispersão de Poluentes na Atmosfera» organizado pelo Núcleo de Estudos de Engenharia Mecânica (I. A. C.) e a Divisão de Termodinâmica Aplicada (I. S. T.) em Setembro de 1972.

do potencial económico o qual passa sempre pelo potencial industrial, pelo uso acelerado dos recursos naturais e pelo aumento acelerado da produção de desperdícios na forma actual como é concebida a tecnologia ao «serviço do Homem». Isto para não falar na produção, aquisição e destruição de armamento.

Naturalmente, o agudizar da degradação do ambiente pode originar reflexos explosivos ao nível da massa, uma crise aguda de consciência ao nível de certas elites, alguns actos utópicos de renúncia individual, de contestação ou mal estar proveniente de convicções abaladas ou de acomodações que se aceitam mas difusamente se rejeitam. A História, porém, revela que não foi a excelência de uma civilização que garantiu a sua sobrevivência mas sim a força de que pode dispor para a defender de concepções antagónicas. Como tal, seria pura utopia imaginar que qualquer dos sistemas que por esse mundo se debatem possa de «motu proprio» trocar as suas prioridades de poder pela realização dos seus princípios humanitários. Resta saber se alguma causa externa poderá mudar todos simultâneamente; se todos simultâneamente continuarão mantendo as suas actuais concepções ou se todos desaparecerão, desaparecimento que pode ser numa fracção de segundo, de anos ou de séculos, mas que nem por isso deixará de ser o desaparecimento puro e simples.

Naturalmente, o desaparecimento à escala dos séculos é insusceptível de motivar grandes camadas; desaparecimento ou asfixia à escala de anos ou dezenas de anos motiva certamente e com tanta maior probabilidade quanto mais jovem e esclarecida fôr a camada em questão. E a estatística indica que a população mundial cresce ràpidamente nos grupos etários mais jovens, ocupando já o grupo dos 17 aos 25 um lugar preponderante. Não deve surpreender-nos, pois, que esta classe, a classe dos estudantes universitários, se preocupe com factos e perspectivas cuja evolução exponencial coloca bem dentro da sua esperança média de vida, factos e perspectivas que para gerações precedentes apareciam tão longe no horizonte que nem lhe mereciam um pensamento.

Sem prolongar mais as reflexões de generalidade que a agressão quotidiana de informações e notícias necessàriamente provoca a uma mentalidade sã, a questão fundamental que se antepõe a todas as outras há-de ser, necessàriamente, a da correcção objectiva dos dados em que se articulam raciocínios e a clareza das hipóteses que afectam uma conclusão.

É isto afinal e simplesmente a que nos propomos de modo sucinto e necessàriamente incompleto.

1 — DADOS DE PARTIDA

Todo o raciocínio sobre o ambiente pressupõe um certo conceito de vida, da sua manifestação e evolução.

É uma hipótese de base, quase trivial, sempre implícita, mas fàcilmente esquecida porque nem sempre fácil de explicitar. Por exemplo, todos sabemos que seres humanos permaneceram na lua durante dias e que é possível à tecnologia moderna fazê-los permanecer meses ou anos. O que sabemos também é que esses seres transportaram consigo o mínimo indispensável do seu ambiente terreno sem o qual a sua sobrevivência como seres humanos seria impossível.

Para sobreviver na lua o homem levou alimentos, água, oxigénio, e uma protecção exterior para as variações de temperatura e humidade e um escudo que o protege das radiações.

Aquilo que a tecnologia moderna fez pelos lunautas, fez o planeta Terra, na sua evolução, por todos nós: — se a sua distância ao Sol fosse menor, a sua temperatura seria muito mais elevada, tal como seria mais baixa se a muito maior distância; o seu campo magnético reflete partículas ionizadas e de alta velocidade provenientes do Sol e do cosmos.

A transparência inicial da atmosfera à radiação ultravioleta impediu de princípio a existência de plantas à superfície, as quais só apareceram depois do aparecimento duma camada protectora que, por sua vez, se formou do oxigénio libertado por fotosíntese pelas plantas submersas nos oceanos, onde a protecção às radiações foi assegurada pela água. Foi esta combinação única de múltiplos factores ao longo de biliões de anos que tornou possível o aparecimento de vida.

Esta concepção de evolução assenta naturalmente em conceitos científicos que, por sua vez, se baseiam em conhecimentos adquiridos em poucas centenas de anos, alguns em poucas dezenas, o que naturalmente nos leva a um segundo pressuposto básico em qualquer raciocínio previsivo: o da intemporalidade dos princípios fundamentais da ciência moderna.

Este aspecto merece algum comentário adicional dada a confusão em que são férteis os cultores da filosofia e das humanidades clássicas e de tantos mais em que o conhecimento em profundidade das ciências físicas está longe de alcançar o seu efectivo domínio noutros temas. A confusão é perniciosa porque geradora de optimismos infantis ou de desespero infundado no que a ciência e o seu braço aplicado — a tecnologia — pode e não pode fazer.

Para aqueloutros a quem uma cultura geral lembra a revolução duma física moderna e leva a esperar que uma nova revolução será sempre possível devemos apenas recordar que tais revoluções foram revoluções não por terem destruído tudo quanto as antecedeu em conhecimento científico mas sim porque, englobando tudo quanto esse mesmo conhecimento já explicava e previa, conseguiram explicar e prever muito mais do que às anteriores elaborações era possível. A relatividade não rejeitou a Mecânica de Newton: circunscreveu-a ao domínio para onde fora estabelecida.

Ora a tecnologia moderna é ciência aplicada; não a negação da ciência estabelecida. Naturalmente, a destrinça entre barreira tecnológica e impossibilidade à luz dos princípios da física não será fácil para todos. O filósofo do absoluto poderá mesmo rejeitar semelhantes limitações. Mas não cabendo aqui avançar numa especulação abstrata que contradiz todo um conhecimento de séculos, transformamos esse conhecimento na hipótese anteriormente enunciada: a validade intemporal dos prin-

cípios fundamentais das ciências físicas. De entre estes, merecem particular relevo o primeiro e o segundo princípios da Termodinâmica.

2 — O PAPEL DA ENERGIA

Em termos de física, o planeta comporta-se como um gigantesco sistema termodinâmico não isolado, que permuta energia com o exterior, mas não permuta massa em termos significativos. Em termos mais específicos, recebe energia do Sol e radia-a para todo o espaço exterior. O planeta não é, porém, um sistema inerte e no seu interior processa-se um sem número de evoluções caracterizadas pela permuta de energia e a geração de entropia.

Este sistema, antes do aparecimento do homem, possuiria um certo equilíbrio em que alterações importantes se processariam à escala dos milhões de anos. O aparecimento do homem não foi, nem era de molde a introduzir qualquer perturbação significativa, pois tal implicaria a capacidade de manipular quantidades de energia à escala dos fluxos de energia em jogo nos fenómenos naturais que se processariam ao nível do planeta.

Essa manipulação só é possível desde há poucos anos com a energia nuclear a qual, por sua vez, se acompanhou da indesejável libertação de radiações de que a atmosfera nos protege relativamente ao espaço exterior e que o planeta extinguira pràticamente para se tornar habitável (mas que agora somos capazes de libertar do interior).

Neste ponto, será de interesse referir que o alcançar de tal possibilidade teria sido impossível sem o prévio domínio da utilização em larga escala das fontes energéticas tradicionais, por sua vez só viável em sociedades altamente organizadas e de grande dimensão.

Admitamos, porém, e apesar da facilidade com que as actuais super potências poderiam libertar tais quantidades de energia, que o Homem nas suas expressões organizadas não deseja a realização de tal holocausto, muito embora não deixemos de nos lembrar que tal possibilidade existe e de que a vida humana nas suas formas actuais pode efectivamente desaparecer da face do planeta num espaço de horas por vontade de alguns.

Aquela possibilidade revela, por outro lado, que a partir de certo grau já não será apenas a força nas suas formas claras de poderio militar que determinará as evoluções, uma vez que o seu uso arrastará à morte o próprio que a utilizar.

No entanto, embora da forma menos espectacular, mais subtil mas nem por isso menos progressiva, o Homem manipula e concentra no natural desenvolvimento da sua actividade económica quantidades crescentes de energia porque só ela lhe permite a inversão do sentido de evoluções naturais ditadas pela segunda lei da Termadinâmica. E aqui chegamos a um dos aspectos de maior interesse que, por elementar e corriqueiro, é tão fàcilmente esquecido.

Qualquer alteração na natureza, a produção de um adubo, a concentração dum mineral, a produção de um detergente, a dessalga da água do mar, a produção de qualquer produto químico, exige dispêndio da energia. A única energia que o planeta recebe do exterior provém do Sol, mas desta apenas uma fracção absolutamente insignificante é utilizada directamente nas referidas actividades. A utilização mais importantes que no planeta se faz dela surge através de fenómenos naturais — a fotossíntese por exemplo. Industrialmente, no presente, cerca de 97% da energia utilizada provém de reservas acumuladas no planeta ao longo de milhões de anos sob a forma de combustíveis fósseis. Por outro lado, a utilização desta energia utiliza ciclos térmicos e como estes, em caso algum de significado industrial, ultrapassam um rendimento de 50%, segue-se que no momento presente pelo menos metade — em verdade consideràvelmente mais — da energia do combustível é dissipada no ambiente sob a forma de calor. Tudo se passa, pois, como se pelo menos metade do combustível usado na produção de energia elcétrica fosse directamente alimentar uma fogueira gigantesca na superfície do planeta à qual se pode juntar todo o combustível gasto no transporte aéreo, marítimo ou terrestre.

No momento, o valor dessa libertação de calor no ambiente é apenas uma fracção pequena da energia recebida do Sol ou da permuta com o espaço exterior. No entanto, não deverá deixar de reflectir-se que a energia recebida do Sol é distribuida por toda a superfície do planeta e de que a libertação a que nos referimos é concentrada em áreas muito reduzidas.

A extrapolação é fácil de fazer e de concluir que não bastará dispor de quantidades ilimitadas de combustível para que as preocupações cessem. De facto, mesmo esquecendo o efeito anterior no aquecimento, há o efeito associado da produção de CO_2 e do consumo de oxigénio.

Na natureza, o CO_2 é um produto natural da respiração de animais e plantas e o participante num ciclo que todos conhecemos no qual, através da fotosíntese, as plantas usando a energia solar restituem oxigénio à atmosfera. Ora a forma habitual de raciocinar neste tipo de problemas é a de que tal equilíbrio se estabelece sem que nos preocupemos sobre o tempo que pode levar a realizar cada fase do processo, ou sequer se tal equilíbrio é possível.

Que não deve ser assim mostram-no as medidas efectuadas no Hawai, no laboratório de Bien-Hca desde 1958 as quais revelam um crescimento médio anual de 1.5 p.p.m. Segundo uma estimativa de Lester Maclit, tendo em conta as permutas conhecidas entre a atmosfera, a biosfera e os oceanos, o crescimento é exponencial traduzindo-se numa taxa de 0.2% por ano. Não nos parece que o número exacto seja crucial neste ponto. De acentuar é o facto de as medidas se efectuarem num local afastado de qualquer fonte natural ou artificial de CO_2 e de constituirem como tal uma estimativa inferior da real taxa de aumento que se verifica em certas zonas. Este facto deve ser confrontado com resultados duma estimativa do balanço de oxigénio dos E. U. A. referido num curso realizado na «Yale School of Forestry» em 1969-70 em que se concluía que os E. U. A. viviam já do oxigénio importado através da circulação geral da atmosfera!

Nenhum dos resultados surpreende verdadeiramente, e certamente o oxigénio nunca foi referido como factor condicionante de sobrevivência por ser gratuito e considerado indefinidamente renovável através da fotosíntese!

Citamos o oxigénio e o CO_2 como elementos significativos dum ciclo que só pode processar-se a velocidades finitas e cujo equilíbrio se desloca com consequências inseguramente quantificáveis. No entanto, o processo é estreitamente condicionado pela difusão de ambos os produtos na atmosfera e pelas velocidade de tranferência de massa na superfície da planta. Por outro lado, o CO_2 altera as características de permuta de energia entre o planeta e o exterior, promovendo um efeito de estufa devido ao facto de ser pràticamnte transparente à radiação solar, a qual é rica nos baixos comprimentos de onda, mas de ser pràticamente opaco na zona do infravermelho que é aquela em que a superfície radia. Como a temperatura da superfície tende ela própria a aumentar pela libertação de energia dos combustiveis,, e esta. por sua vez, aumenta a evaporação e como tal o conteúdo em vapor de água na baixa atmosfera, o efeito de desequilíbrio é acentuado porque o vapor de água se comporta como o CO_2 relativamente à radiação.

Seria simplista, òbviamente, prosseguir neste raciocínio linear e concluir que uma situação de total desequilíbrio se atingiria ràpidamente. Seria, porém, dum optimismo por igual modo sem fundamento pensar que a progressão relativamente aos valores habituais seria completamente desprezável: — tal seria ignorar completamente a existência de efeitos cumulativos. De facto, embora de modo não estritamente quantificável, deve acentuar-se que o CO_2 e o OH_2 na atmosfera (tal como as poeiras submicroscópicas em suspensão) desempenham um papel semelhante a uma válvula num mecanismo de servocomando: — a sua actuação é sobre a gigantesca quantidade de energia proveniente do Sol. Por outro lado, mesmo que globalmente o balanço energético não fosse sériamente afectado, a redistribuição de energias que se processa no planeta através da circulação da atmosfera, da chuva, das correntes marítimas etc. será necessàriamente afectada com as consequêntes alterações nas condições climatéricas.

Que a alteração das condições climatéricas por efeito da actividade humana é um facto, pelo menos à escala regional, provam-no incontroversamente resultados conhecidos. Em Indiana, E. U. A., a siderurgia Gary emite finas partículas e a 50 milhas, em La Porte, o efeito é sentido quando o vento sopra nessa direcção verificando-se então um aumento de 230% relativamente à média de tempestades de granizo, 31% na pluviosidade e uma frequência comparável em tempo enevoado. Neste exemplo, não é o CO_2 que está directamente em causa mas as partículas emitidas que actuam como agentes de condensação. Na mesma linha de efeitos é conhecida de todos a produção de chuva artificial através do lançamento de iodedo de prata em zonas de atmosfera sobresaturada de vapor de água.

E no mesmo conjunto de factos se situa a verificação estatística de que Paris e Sarrebrucken (na Alemanha) apresentam uma percentagem em nevoeiro cinco vezes superiores às regiões circunvizinhas.

O número de exemplos poderia continuar, mas parece-nos desnecessário.

Situamo-nos até agora num caso restrito de implicações meteorológicas, desconhecendo deliberadamente os imensos aspectos que sempre se citam ao falar de meio ambiente.

É do conhecimento comum que o D. D. T. foi detectado nos tecidos gordos do corpo humano : 3 p.p.m. nos esquimós (1960), 26 na Índia (em 1964), 7.6 nos E. U. A., etc.; que a quantidade de chumbo por tonelada de gelo cresceu na Groelândia de 20 microgramas em 1750 para cerca de 250 em 1970 (valores obtidos analisando extractos cobrindo o período indicado). Por outro lado, segundo as estimativas da U. S. Food & Drug Administration existem no globo cerca de meio milhão de produtos químicos diferentes, os quais aumentam de 400 a 500 por ano. E naturalmente que a nossa tranquilidade não pode deixar de ser afectada quando raciocinamos por analogia com o D. D. T. acerca do efeito a longo prazo de produtos que, na melhor das hipóteses, foram testados em cobaias de laboratório mas nunca, òbviamente, nas múltiplas combinações possíveis com todos os produtos existentes. E como estes são cada vez em maior número é evidente que o risco de combinações perigosas aumenta sem cessar.

Este aspecto é todo um outro mundo de dados e reflexões que mereciam um pouco mais da atenção de todos nós.

3 — AS LIMITAÇÕES DA TECNOLOGIA

Para não entrarmos nos domínios controversos das inúmeras implicações da poluição detenhamo-nos apenas um pouco na atitude de esperança ignorante nas possibilidades da Tecnologia Moderna com que deparamos tantas vezes, e até em níveis de grande responsabilidade.

Suponhamos, por exemplo, o caso do O_2 e do CO_2. Admitamos que o desequilíbrio se acentuava de tal modo que uma carência de oxigénio se fazia sentir.

A primeira reacção seria a de que a Tecnologia Moderna sabe produzir oxigénio; alguém informado iria mesmo mais longe e diria que o oxigénio poderia ser extraído de CO_2 com o que se faria evoluir o equilíbrio no sentido desejado ou até que, sendo a crosta terrestre formada de óxidos, a quantidade de oxigénio sob tal forma seria pràticamente ilimitada. Em verdade, qualquer das alternativas está ao alcance da Tecnologia Moderna e até de modo relativamente expedito. A sua efectivação, apenas necessitando de energia em quantidade suficiente, desde que houvesse energia o problema de sobrevivência estaria assegurado.

Em termos locais,a asserção é verdadeira. Porém, a sua efectivação à escala do planeta exige um pouco mais de análise: — aquela energia que supomos ilimitada não pode ser proveniente de combustíveis fósseis porque nesse caso — e esta é a barreira imposta pelo segundo princípio da Termodinâmica — a energia necessária

para reverter o CO_2 a carbono e a oxigénio é superior à que se obteve na sua combustão. Isto implica que ou a energia se vai obter noutra origem — nuclear, por exemplo — ou que a sua realização é inexequível à escala do planeta.

Suponhamos que essa energia se ia buscar a reactores da mais avançada Tecnologia: — à escala a que esses reactores teriam de ser utilizados, o nível de radiações assumiria ràpidamente valores incomportáveis com as implicações de degenerência genética e outras de todos conhecidas — eventualmente, em tal nível, não sobrevivia mais do que uma geração!

Adoptemos, porém, a atitude optimista e desconheçamos as radiações.

Como num reactor nuclear a energia se obtém inicialmente sob a forma de calor a sua transformação noutras formas implicará um ciclo térmico, e como tal uma rejeição de calor no ambiente em proporções colossais, da ordem de grandeza da energia recebida do Sol, como um raciocínio simples, assente na Termodinâmica fàcilmente demonstra. Finalmente (o optimismo nunca será demasiado) poderá pensar-se que a Tecnologia Moderna terá conseguido por essa altura solucionar o problema da conversão directa da energia e como tal evitar o ciclo térmico. Todavia, e é novamente a Termodinâmica que nos garante que tal conversão perfeita é impossível e como tal a rejeição de calor no ambiente será sempre um factor inevitável. Certamente, ao optimista só resta esperar que aquela ciência em que a Tecnologia se baseia e que lhe deu toda a abundância material em que vive esteja errada e que um milagre virá sempre resolver os seus problemas!

Deliberadamente esquecemos a solução para este problema que a Natureza nos deu — as plantas e a fotosíntese! O exemplo, porém, mostra bem que em problemas desta escala é impensável pretender competir em termos industriais com a Natureza. Apesar de tudo, o processo é tecnològicamente possível. Pràticamente é possível, sim, mas em extensões bem delimitadas e apenas para muito poucos: não é verdade que um doente (não 3,5 biliões) pode viver em tenda de oxigénio indefenidamente, desde que oxigénio puro seja o factor de que depende a sua sobrevivência?

4 — A FOME...

Raciocinámos até agora em termos de planeta. Não falámos de pessoas, países, nem de sistemas políticos ou sociais. Considerando os homens e as perspectivas de evolução surge imediatamente o problema da fome. Quando tal surge, a FAO, ou entidades responsáveis ou simples «bem informados» garantem-nos imediatamente que a Tecnologia Moderna aplicada à agricultura não cessa de aumentar a produtividade do solo; que a produção de alimentos por síntese — proteínas do petróleo, por exemplo — é viável, tal como é viável aumentar a superfície das terras irrigadas com o aproveitamento da água do mar quando os cursos naturais forem insuficientes ou já demasiado poluídos.

O que não se refere é que em termos energéticos a agricultura americana gasta muito mais energia por hectare do que o que dele pode extrair sob a forma de produtos alimentares! Continuemos, porém, a supor que se dispõe de energia em quantidade ilimitada e citemos Paul Ehrlich no que se refere a outro aspecto:

Admitindo a tecnologia mais avançada que actualmente se concebe, a dos reactores nucleares sobre-regeneradores a AEC (E. U. A.) realizou um estudo da viabilidade dum complexo agro-industrial à beira mar, que produziria água potável e fertilizantes capaz de alimentar três milhões de pessoas. A estimativa, mais que optimista, dava um custo de 1,5 bilião por complexo, i.e. «grosso modo», 40 milhões de contos. Observa Ehrlich: mesmo que a AEC iniciasse o projecto hoje e o completasse em dez anos ele teria que considerar não 1,5 bilião de dólares mas 440, simplesmente para alimentar os 770 milhões de seres humanos adicionais que teriam nascido entretanto!

Poderíamos talvez juntar outro comentário: a população mundial é, actualmente, da ordem dos 3,5 biliões de pessoas. Destes, cerca de 75% são considerados subalimentados, morrendo pura e simplesmente de fome ou, mais eufemìsticamente, de doenças originadas nas carências alimentares de que sofrem. Tal significa que *hoje, cerca de 2.6 biliões de pessoas sofrem de falta de alimentos: — 2,6 biliões era práticamente a população mundial em 1950!*

Se se quiser ser mais concreto, basta comparar a evolução da produção de alimentos per capita publicado pela FAO referente aos anos de 1958 a 1969: — a produção global de alimentos na África, no Próximo e Médio Oriente, e na América Latina aumentou, mas a produção per capita manteve-se e nalguns casos desceu mesmo. Tal não significa, òbviamente, que Americanos, Russos, Franceses, ou Alemães morrem de fome! Aliás, para estes e uns quantos outros, o complexo agro - industrial que a AEC planeou, mesmo ao dobro ou triplo do custo seria muito possìvelmente viável e além de motivo de orgulho para a capacidade da sua tecnologia e fonte de receita na exportação um tranquilizante para as suas preocupações de alimentação no futuro!

Para nos não alongarmos demasiado, pensamos que, sem especulação demasiada, podemos tornar claros dois pontos:

1) Há um limite para o crescimento que provém, ou de esgotamento de recursos, ou do bloqueamento de certos fenómenos naturais indispensáveis à vida. Esse limite, ao ritmo actual, não é algo da ordem do milénio mas do século. Aquilo que para os nossos pais, mantendo as suas condições de vida, poderia suceder ao fim de mil anos, surge para nós ao fim de muito poucos séculos e surgirá para os nossos filhos, a manter-se o ritmo e concepções de vida actuais, ao nível de poucos decénios.
2) O limite de sobrevivência é acentuadamente diferente entre povos. Anda de par com o que hoje se designa genèricamente por «desenvolvidos». e «civilizados». É nesta base e na clara destrinça de situações que

deve encarar-se o que nos prometem e o que os «mass media» defendem. É sobre alguns destes aspectos marcantes que vamos deter-nos um pouco.

5 — O RELATÓRIO DO M. I. T.

Em Junho de 1971 realizou-se em Paris o Congresso das Ciências e Técnicas do ano 2.000. Deram grande brado algumas conclusões de entre as quais recordamos que no ano 2.000 cerca de 75% da produção de energia se destinaria à purificação da água, recurso natural acima de todos escasso.

Foram simultâneamente divulgados alguns resultados a que chegara o Clube de Roma e a equipa do M. I. T. que tinha elaborado o estudo da evolução do «planeta» usando as técnicas da Dinâmica dos Sistemas. Todos os congressistas se chocaram com o fatalismo das conculsões: fosse qual fosse o parâmetro ou o optimismo de alguns factores o período de colapso oscilaria de 50 a 100 anos mas não muito mais. Parecia inferir-se que a população mundial desceria então a um nível de tal modo baixo que a natureza retomaria os seus direitos para regenerar o que fora destruído e oferecer aos sobreviventes, ao fim de algumas centenas de anos, um planeta semelhante ao que possuíam os nossos pais.

Semelhante pessimismo era discutido sob formas várias. Um amigo nosso, aliás um dos organizadores e cientista conhecido, no final de uma carreira brilhante lamentava-se de que certos jovens anarquistas tinham aproveitado a oportunidade para tentar politizar o que era uma reunião científica querendo à viva força arrancar aos oradores uma condenação formal da sociedade em que vivemos e que consideravam responsável pelo futuro que lhes oferecia. Outros comentavam, com ironia algo amarga, que pouco tempo antes o Hudson Institute e o seu Director, o mais destacado e brilhante dos futurólogos, havia prometido a quase todos o paraíso terreno por volta do ano 2000! Foi uma pena ter omitido a limitação de recursos e sobretudo a poluição. A poluição e a degradação de estruturas sociais que parecia uma nova epidemia...

Estas as rápidas impressões colhidas, certamente pouco significativas, dado o curto tempo de que dispus (o estar em Paris com outra finalidade não me permitiu sequer participar directamente nas sessões). A Imprensa não comentou o Congresso e a pessimismo não alastrou...

Meses depois o relatório do M. I. T. era publicado. O lançamento publicitário e a ressonância que lhe deu Manshold com a sua posição oficial tornaram o livro um «best seller» e o tema e o relatório discutidos em todos os tons.

Salvo raras excepções todos os comentários na Imprensa nacional e internacional diziam, implícita ou explìcitamente «o computador, essa pitoniza moderna, previu que...».

Entre nós um jornal diário deu-se ao trabalho de dedicar porção não despresável da sua página de Domingo a histórias de computadores que se enganaram, este deus moderno em que o «Homem abdicou a faculdade de pensar». Posteriormente houve um artigo de primeira página a prevenir contra tal pitoniza mas, honra lhe seja, o seu autor achou posteriormente que uma nova civilização se avizinhava, nem tanto ao mar nem tanto à terra, e com a tecnologia moderna e a sensatez dos Homens a prometer um futuro novo.

O «Financial Times» atacou o relatório. A «Newsweek», pela pena de um Nobel de Economia criticou-o àsperamente pela sua metodologia que arrastou ao pessimismo. O «New Scientist» abriu-se à polémica, o «Le Monde», após uma crítica extensa, relativamente neutra, publica pouco depois o artigo de um antigo graduado do M. I. T. no qual se apontam deficiências de método. Muito mais tarde, um destacado especialista de recursos minerais, também no «Le Monde», vem acusar a equipa de ter seguido as ideias correntes dos não especialistas quanto ao modo de avaliar o recursos não renováveis. E além destes muitos mais.

Fizemos citações de memória porque não pensamos ser este o momento mais oportuno para uma crítica individual de cada uma das poucas críticas que pudemos ler (mas certamente refletem muitas mais) mas sobretudo porque nos não parece que sejam sequer relevantes para o que julgamos dever frizar.

Antes de mais, o computador só é «pitoniza» para quem não compreende sequer o mundo em que vive. Por outro lado, o relatório do M. I. T. possui informação estatística de extrema utilidade porque difícil de reunir por quem não disponha de grandes meios e grandes equipas: esta informação não a vi contestada. Contestado, nalguns casos, foi o seu tratamento e, sobretudo, a extrapolação dos dados. Noutros foi a insuficiência do modelo.

Ora, quem leu o relatório e tem alguma experiência de computadores reconhece imediatamente o carácter irrelevante de algumas críticas e leva a pensar se o crítico leu efectivamente o relatório ou, pelo menos, o seu prefácio. Por vezes parece que os comentários foram apenas os de quem leu apressadamente as conclusões e tratou de as criticar à luz de ideias prévias.

Não li os trabalhos técnicos, por ainda os não ter recebido, mas novamente as conclusões de pormenor a que poderia chegar não alteram no que seja o facto global que tal trabalho revela: que o actual modelo de crescimento e a organização social que o gerou conduzirá inelutàvelmente ao colapso no próximo século. Se é exactamente no ano 2100, se em 2050 ou em 2200 não me parece relevante. O que me parece relevante é o desespero dos críticos em provar que os recursos irão durar um pouco mais, ou de que o modelo é imperfeito. O que o modelo representa transcende de facto todos esses comentários — ele representa um aviso claro para um futuro próximo quando todos desejariam o conforto de vários milénios e a ideia de que também no ano 1000 se disse que o mundo acabava e de que para o ano 2000 a profecia não teria mais valor. O modelo não diz que o colapso é incondicional: implica sim, que a continuarmos como hoje atrás do mito de que civilização é progresso material e aumento constante do P. N. B. não haverá saída. Mais década menos década, nas premissas adoptadas, o resultado será sempre o mesmo.

O que o modelo não contempla por cientificamente inquantificável no presente são as implacáveis alterações

sociais que irão produzir-se e inflectirão os conceitos de vida e o tipo de civilização em que vivemos, desde que admitamos que no curso da sua evolução histórica sempre a humanidade evitou o suicídio colectivo, porque sempre o instinto de sobrevivência se antepôs a tudo o mais. Ora, estudos como o do M. I. T. contribuem eles próprios para prevenir essa catástrofe. Não é uma pitoniza fazendo uma profecia, é uma quantificação de tendência dolorosa de aceitar por quem não concebe a mudança!

O que pareceu mais chocante para todos foi o carácter inexorável da exaustão dos recursos não renováveis. À crítica já citada do especialista de minas por do certo modo significativa, podemos responder com a observação já feita acerca do complexo agro-industrial à beira mar: *o limite dos recursos não renováveis está ainda no horizonte longínquo para alguns na condição de que a parte restante possa continuar a suportar a sua situação de previlegiados*. Nesta lógica, os E. U. A. poderão continuar a importar gratuitamente na circulação geral da atmosfera o oxigénio de que precisam como a título oneroso importam já, tal como a Europa, e outros, os bens vitais que não possuem, nomeadamente energia concentrada em forma de combustível. Como dissemos anteriormente, o limite da sobrevivência depende do povo de que se trata!

Para terminar este comentário e sem prospectiva alguma limitemo-nos a transcrever o quadro publicado no relatório do M. I. T. quanto aos recursos naturais não renováveis. Nesse quadro, porém, vamos limitar-nos às reservas actualmente conhecidas e ao tempo que iriam durar se a capitação fosse igual para todos os habitantes do planeta.

RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS

Recurso	Anos de duração	Valor do M. I. T.
Alumínio	24	55
Crómio	211	154
Carvão	518	150
Cobalto	33	148
Cobre	10	48
Ouro	4	29
Ferro	84	173
Chumbo	10	64
Manganés	64	94
Mercúrio	5	41
Molibdénio	20	65
Gás natural	6	49
Nickel	39	96
Petróleo	9	50
Grupo de platina	41	85
Prata	6	42
Estanho	7	61
Tungsténio	18	72
Zinco	9	50

Como se verifica, o cobre, o petróleo, o gás natural, o estanho, a prata,o zinco, o mercúrio, o ouro, o chumbo, cessariam em 10 anos, isto é, entre 1970 e 1980 se a população mundial se estabilizasse ao nível de 1970, se os E. U. A. parassem de crescer e todo o mundo gozasse da capitação material do americano em 1970. Na mesma hipótese, uma série importante de outros produtos vitais desapareceriam antes do ano 2000.

A última coluna representa a estimativa do M. I. T. no seu modelo global. É este número que os entusiastas do modo de estar no mundo como o fazemos hoje procuram dilatar. Será necessário comentar? Ou não revelará o quadro, baseado nos valores conhecidos, sem extrapolação ou modelo matemático a mascarar princípios fundamentais, que é utopia pensar que todos os habitantes do planeta poderão alguma vez disfrutar da capitação material do americano de 1970?

6 — O QUE NOS ESPERA?

Todo o raciocínio anterior é feito para evitar controvérsias, no sentido em que os dados utilizados têm reconhecida objectividade e que as hipóteses usadas foram suficientemente claras para evitar desvios. Não explicitada mas transparente é a hipótese que a aspiração dos povos é a capitação americana dos bens materiais em 1970 e o actual conceito de tecnologia do serviço do Homem. O facto de termos citado a América não traduz qualquer animosidade — explicita apenas o padrão que parece mover hoje todos os povos, sejam eles capitalistas ou socialistas! Uns desperdiçam mais, outros menos, mas os que desperdiçam menos ou que menos deterioram o ambiente próprio ou dos outros não o têm feito por convicções filosóficas ou humanitárias mas porque não possuem o necessário potencial industrial.

O que se assiste, sim, é à migração das actividades mais poluidoras das mais evoluidas tecnològicamente para as que o são menos! E este fenómeno interessa-nos particularmente e interessa concerteza todos os que poluem menos por capita que os todo poderosos.

Para abordar este aspecto, que nos conduziria directamente a aspectos nacionais é necessário considerarmos algumas antevisões que a evolução global sugere. Esta induz a pensar que o destino dos povos é necessàriamente solidário, não porque os homens são modelo de amor e perfeição mas porque, em última instância, a natureza não permitirá alhearem-se uns dos outros completamente: —

Os previlegiados só poderão sobreviver enquanto o forem ou puderem ser, isto é, enquanto outros menos felizes lhes forem «oferecendo» aquilo de que carecem cada vez com mais desespero. Uma completa instabilidade política nos fornecedores de matérias primas fará cessar o seu fluxo: uma maciça exploração para uso próprio de recursos locais irá promover outro tanto.

Considere-se apenas o que representaria na exaustão de hidrocarbonetos se a utilização de fertilizantes por hectare fosse por todo o lado semelhante às do Americano de hoje. Seriam 10, 20, 50, anos, como o quadro já revelou. Este e outros factos, em análise mais profunda, mostrariam outros razões além das «humanitárias» para explicar a angústia dos desenvolvidos pela explosão demográfica nos que o são muito menos.

É do mesmo Paul Ehrlic que já citámos e se fez esterilizar para dar o exemplo o seguinte à parte (existe no texto duma das suas lições): «*Let's hope that part of the globe stays underdeveloped, because if we ever tried to develop it, the world would end...*,

E embora Ehrlic, e os especialistas do M. I. T. e a maior parte dos bem informados saiba que as estatísticas indicam uma queda de natalidade quando se atinge um certo nível de capitação de bens materiais, e de cultura , calculo que infiram também que esse tal nível para todos seria a proximidade do colapso global!

O realismo pode degenerar em pessimismo! Ponhamos a questão de outro modo e sejamos optimistas pelo menos na prospectiva: — como tanto capitalistas como socialistas nas suas manifestações actuais têm o ponto comum, entre tantos, de progredir no desperdício porque usam a tecnologia suboptimizando e de modo idêntico delapidando os recursos naturais, na sociedade do futuro verá estados independentes, guerras, exploração de uns nem um sistema nem outro existirão. Também não hapelos outros. A Tecnologia servirá a todos, a natureza será domesticada de modo mais subtil, o Sol será a fonte de energia mais utilizada e deixaremos à biosfera o cuidado de efectuar as sínteses de calorias, de proteínas, etc. de que todos precisamos para viver, etc., etc..

Como tal mundo não surge amanhã e precisamos sobreviver retomamos o prazo médio. Adoptemos as premissas:

1) É impossível uma reconversão global da tecnologia em dez anos (ou vinte...)
2) Os sistemas políticos e económicos que comandam a marcha da evolução não começam a praticar, todos, instantâneamente e simultâneamente os princípios humanitários que sempre disseram norteá-los.
3) Massas crescentes de população tomam consciência da gravidade do problema da degradação do ambiente e exigem providências.

Por força da hipótese três começou a ser promulgada em todos os países, para tranquilidade do público, e aplicação naqueles em que a sua opinião pesa mais, legislação anti-poluição.

Como o investimento necessário nos mais desenvolvidos é colossal, por serem também os mais poluídos, o mercado assim criado torna-se de uma extraordinária atracção. O Estado e as grandes empresas, e estas com o dinheiro daquele, investem na investigação necessária.

As grandes empresas, de que o público tem tendência a desconfiar, encontram a oportunidade única de melhorar a sua imagem e aumentar os seus lucros com a venda do equipamento ou produtos que não poluem. E o P. N. B. aumenta porque nos seus algarismos à actividade de poluir se adiciona a de despoluir. Obviamente, esta oportunidade única está reservada a alguns poucos: aos que souberem prever, investir, desenvolver a investigação necessária, «correr riscos». Os grandes ficarão maiores e os pequenos mais pequenos...

Finalmente, há o mercado exterior: primeiro para instalar o equipamento mais poluidor que o país de origem não tolera mais — há tanto subdesenvolvido ou em vias de desenvolvimento a querer industrializar-se ou a industrializar-se um pouco mais! E essa instalação é até um acto de humanidade — novos empregos, mais bem estar, P. N. B. a crescer! E quando o bem estar já é grande e a poluição preocupa, eis que está pronto a chegar o produto acabado de uma tecnologia superior: — o equipamento despoluidor ou a fábrica que já não polui.

Conclusão: *a pobreza paga-se sempre por um preço exorbitante!*

No nosso País, há os que entendem que falar de poluição é travar o desenvolvimento: constituem ou uma classe de intelectuais idealistas que não digeriram até às últimas implicações o que a Imprensa estrangeira de vulgarização lhes fornece ou agrupam-se nos saudosistas para quem neste País a poluição é contra a lei, a tradição e as convicções mais profundas.

Há quem pense que poluição é um tema de oportunidade, mobilizador de massas, força política a explorar e há o desfrutador das comodidades da vida, para quem a poluição é um incómodo!

Estas e outras tendências irão chocar-se, combinar-se, desfazer-se e a poluição arrisca-se a ser mais um instrumento do que um problema real para ser visto e encarado na perspectiva correcta.

Ora não é travando o desenvolvimento que impediremos a poluição — ela entra sem pagar direitos e ainda cobrará juros. Mas desenvolvimento económico não é necessàriamente progresso e os fanáticos do P. N. B. deveriam começar por separar as parcelas se se interessam tanto como dizem pela sorte de todos e dos mais desfavorecidos. E deveriam fazer algo mais do que separar as parcelas!

Finalmente, e para concluir, podemos ter verdadeiro progresso, sem ter de pagar os custos do equipamento que nos instalam, das licenças que nos vendem, das associações que nos oferecem e depois voltar a pagar os estragos que nos trouxeram, os erros a que nos induziram, o melhor que nos levaram.

Ora tudo é possível, mas difícil. *Alguma poluição é inelutável e todas a aceitaremos se das suas causas todos colherem igualmente os benefícios.* Precisamos de aprender a optimizar globalmente, não a suboptimizar. Precisamos de saber prever, de medir consequências.

É com essa intenção que organizamos este curso a que esta introdução pretende servir de pano de fundo.

Quanto ao curso em si, talvez seja oportuno frizar, eventualmente insistir, de que ele não se origina em actividade ditada pela súbita descoberta do sensionalismo do tema. Correspondente sim à consciencialização de que os resultados da investigação científica de há anos desenvolvida por este grupo em Tranferência de Calor e Massa — actividade de que três cursos de extensão universitária realizados desde 1969 dão conta — eram directamente aplicáveis à dispersão de poluentes.

Qualquer grupo de investigação gosta de realizar trabalho útil. O conceito de utilidade varia. No nosso caso pensamos que só podemos lucrar se usarmos as ferramentas mais avançadas que a Ciência nos oferece, se as desenvolvermos e se nos não alhearmos de quem, como e porquê vai usar os seus resultados.

MAGUE

GUINDASTE ELECTRICO com lança horizontal com capacidade de carga de 12 toneladas e 30 metros de alcance em serviço no estaleiro da LISNAVE na Margueira.

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

MERCEDES-BENZ

MOTORES DIESEL

GRUPOS ELECTROGÉNEOS DE 14½ A 245 KVA

REPRESENTANTES
MENDES DE ALMEIDA, S.A.R.L.
ESCRITÓRIOS • ARMAZÉNS
OFICINAS • SALÃO DE VENDAS
AV. 24 DE JULHO, 54 A-G — LISBOA — TELEF. 667794/8

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

- SOLDADURA ELÉCTRICA
- MATERIAL DE PROTECÇÃO

Aparelhagem de medidas eléctricas

- indicadora
- reguladora
- registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º — LISBOA Tel. 865151
P. do Município, 309-6.º S 3 — PORTO Tel. 0236732

fundações
sondagens

Sopecate

especialista há ‡1/4‡ de século

rua do arsenal 146-2º tlf 34010 • Lisboa

C. D. U. 551.311.22/620.199/691.2 : 5392.15
539.215

ANÁLISE LABORATORIAL DA INFLUÊNCIA DA GRANULARIDADE NA ALTERABILIDADE DAS ROCHAS (*)

L. AIRES - BARROS
Lab. de Mineralogia e Petrologia
Instituto Superior Técnico - Lisboa

RESUMO

Faz-se o estudo da influência da granularidade das rochas na sua alterabilidade. Para isso utilizam-se extractores de Soxhlet, tendo-se ensaiado três tipos texturais de uma mesma rocha ígnea (sienito nefelínico). A partir da mobilidade química dos principais catiões constituintes dos minerais das rochas e das perdas de peso de cada tipo de material ensaiado, procura-se adaptar um índice de alterabilidade. Tenta-se avaliar o peso a atribuir à textura de uma rocha ao se usar uma expressão geral da alterabilidade das rochas.

SYNOPSIS

The study on the influence of the granularity of rocks on their alterability is intented.

Laboratory tests were conducted by means of Soxhlet extractors using three different grain-size types of the same rock (nepheline syenite).

Using the chemical mobility of main cation of the mineral constituents and also the weight lost for each rock type analysed, an adaptation to an alterability index is intented. This study attempts to know the textural factor of a rock which may be employed in a general equation of rock alterability.

I — INTRODUÇÃO

O estudo da meteorização das rochas pode fazer-se, fundamentalmente, por duas vias: *a laboratorial* em que se procura reproduzir de modo acelerado as condições naturais dos meios exógenos e *a via da análise da transformação das rochas «in situ»* em que se faz o estudo de perfis de formações rochosas, desde a rocha sã até às porções superiores muito degradadas, transformadas num solo.

É relativamente abundante a bibliografia referente a cada uma das vias de estudo apontadas. Têm tido largo florescimento os estudos «in situ». Pode considerar-se que o primeiro estudo deste tipo e que vincou de maneira indelével uma via de investigação foi o trabalho de GOLDICH (1938).

Um processo de encarar objectivamente o problema assaz complexo como o da meteorização, será o de analisar os fenómenos de alteração no terreno e de tentar reproduzi-los e explicá-los por via laboratorial. Nesta via distinguem-se duas linhas de investigação. Uma é a que trabalha, sistemàticamente, sobre material pulverizado (minerais e rochas). Outra é a que ensaia granulados de minerais ou de rochas acelerando o fenómeno de modo a obviar à vantagem aparente que têm os ensaios sobre amostras pulverizadas.

De entre os autores que têm trabalhado com o material pulverizado devem distinguir-se CORRENS (1961) e colaboradores. Nesta investigação o mineral a estudar é pulverizado, diluido em solventes com vários pH e agitado fortemente após o que é submetido a uma ultrafiltração. Variando o pH do solvente, a taxa de filtração e o tamanho das partículas passadas no ultrafiltro, CORRENS (op. cit.), analisa a mobilidade de alguns constituintes.

Os norte-americanos (KELLER & allia, 1963, e KELLER & REESMAN, 1963) pulverizam os minerais ou as rochas em água bi-destilada ou ainda em água carregada de CO_2. Estas soluções depois de centrifugadas são analisadas para a pesquisa dos constituinte dissolvidos. Os trabalhos atrás citados têm larga soma de informação não só referente aos principais minerais das rochas ígneas (KELLER & allia, 1963), mas ainda sobre os principais tipos de rochas ígneas (KELLER & REESMAN, 1963).

A técnica de pulverizar os minerais a ensaiar arrasta necessàriamente a destruição das principais ligações estruturais, comprometendo a compreensão perfeita da reactividade natural entre o cristal e a água circundante. Do mesmo modo, o uso de soluções artificiais, quer acidulantes, quer alcalinas, mascara a realidade dos fenómenos naturais na maior parte dos casos.

* Trabalho realizado no âmbito do projecto de investigação TLMG1, subsidiado pelo Instituto de Alta Cultura do Ministério da Educação Nacional

Está, pois, o problema em procurar um compromisso entre o que se observa na natureza e o que é válido e viável reproduzir no laboratório. O principal óbice à consecussão da investigação laboratorial dos processos de meteorização reside na reprodutibilidade dos fenómenos à «escala humana».

Os fenómenos de meteorização processam-se no geral em meios oxidantes e hídricos, à temperatura ambiente ($\simeq$ 25°C) e à pressão atmosférica ($\simeq$ 1 atm). Para estas condições, a evolução temporo-espacial das rochas endógenas só é perceptível à escala geológica, sendo muito precàriamente notada à escala humana. Haverá, portanto, que acelerar os fenómenos para os compreender e seguir a sua evolução em lapsos de tempo curtos, tendo todavia, em mente que tais experimentações serão sempre morosas, da ordem dos milhares de horas.

Sendo os factores intervenientes no processo de meteorização a pressão atmosférica, a temperatura média do ar, a acção lixiviante e desagregadora das águas de circulação subaérea e as forças bióticas, nos ensaios em laboratório haverá que coordenar estes factores de modo a acelerar a alteração das rochas e minerais sem nos afastarmos demasiado das condições exógenas naturais.

Os trabalhos de PEDRO (1964) e colaboradores têm sido orientados no sentido de ensaiarem rochas em granulado, pelo que se procura o aceleramento das condições externas—caudal de líquido percolante e aumento limitado da sua temperatura. Para isso adoptaram o extractor de Soxhlet.

Esta linha de investigação tem sido tentada por nós. Efectivamente temos conduzido a investigação no sentido de se averiguar as leis e sentido da meteorização procurando reconstituir, em modelo reduzido, as condições naturais. Vários tipos de ensaios se levaram a efeito. Assim:

1 — Simulação de maciços ou de galerias em rocha, submetidos a condições intermitentes de percolação e de insuflacção de ar, a temperaturas escolhidas (AIRES - BARROS & GRAÇA, 1971a).

2 — Ensaios de erosibilidade e mobilidade química em granulados de rochas (AIRES - BARROS & GRAÇA, 1971b).

3 — Ensaios com o extractor de Soxhlet. São numerosos os ensaios com este dispositivo, quer sobre minerais e rochas, quer sobre provetes de geometria definida para serem submetidos a ensaios físicos ulteriores, quer ainda sobre rochas do mesmo tipo mas de granularidades diferentes.

II — MODELO LABORATORIAL

Em publicações atrás referidas se permenorizaram os ensaios das duas primeiras alíneas mencionadas. Vamos pois cingir-nos aos ensaios com o extractor de Soxhlet.

O extractor de Soxhlet permite lixiviar as rochas ou minerais por água sempre destilada (simulando as águas de precipitação atmosférica) com certo grau de dissociação (pH $\simeq$ 5,8 a 6,2). De acordo com a Fig. 1, pode obter-se na experimentação com este dispositivo a simulação de:

a) Uma atmosfera impregnada de humidade e a cerca de 60°C, onde se simula a precipitação atmosférica (chuva).

b) Uma zona de flutuação do nível hidrostático, periódica e alternadamente imersa e emersa. Nesta zona dá-se uma percolação activa com transporte em solução verdadeira e coloidal e ainda por suspensão e arraste de carga sólida.

c) Uma zona de depósito de acumulação da maior parte dos produtos carreados da zona precedente.

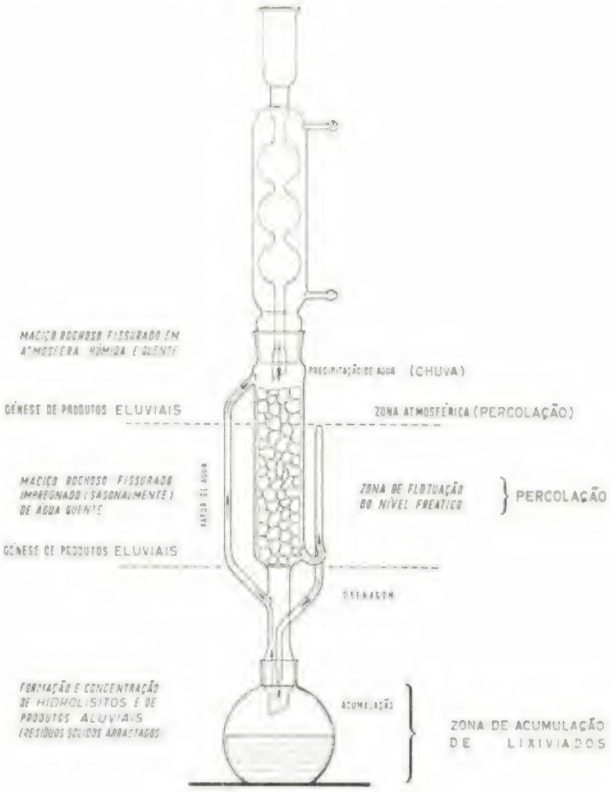


Fig. 1

No dispositivo esquematizado temos a reconstituição do *ciclo hidrológico* e do *ciclo geoquímico*. Quanto ao ciclo da água assiste-se à precipitação, infiltração e drenagem, acumulação e evaporação, para se reiniciar novo ciclo. Quanto ao ciclo geoquímico, a percolação do «maciço» dá origem a:

- produtos eluviais (minerais de neo-formação) sobre o granulado (maciço rochoso) do extractor,
- hidrolisitos (na bacia de recepção que é o balão receptor), e produtos aluviais.

Deve ter-se em atenção que no extractor, onde se simula o «maciço rochoso» se definem duas zonas em função da altura do sifão. A porção abaixo da curva do sifão é a zona de flutuação do nível hidrostático que varia periòdicamente, tal como na natureza.

Vemos que no dispositivo da Fig. 1, no extractor se definem uma zona de acção percolante limitada inferiormente pelo nível hidrostático que flutua. Este nível hidrostático limita superiormente a zona de descarga compreendida,no modelo, entre a curva do sifão e a base do extractor. Em outros dispositivos, além destas duas zonas, ainda se simula a zona estagnada em que não há percolação, nem descarga. Oportunamente se publicarão os resultados de experimentação com este dispositivo.

Analisemos quais as condições de trabalho nos extractores de Soxhlet utilizados. As rochas são fragmentadas em pedaços com peso médio de 25g (∅ ≃ 25mm). O extractor é cheio com estes fragmentos, tendo o cuidado de permitir um gotejar fácil. Simula-se assim um maciço rochoso com um sistema denso de diaclases e vazios por onde a água de percolação se infiltrará lixiviando as rochas.

Se se mantiver o extractor em funcionamento 10 horas por dia pode obter-se um gotejar correspondente a uma lâmina de precipitação atmosférica de 750mm diários. Esta «chuva» é quente (≃ 60°C) o que favorece o aceleramento do processo. Só com uma pluviosidade forte de águas tépidas a quentes se consegue acelerar um fenómeno normalmente moroso.

Acresce que a humidade relativa no extractor é elevada, aproximando-se da saturação. Para 70°C, a pressão de vapor saturante é de 230mm Hg, para este valor da capacidade higrométrica, à pressão parcial do ar de 530mm Hg, correspondem teores de oxigénio um terço do normal e teores de dióxido de carbono um quarto do normal. Sabe-se ainda que o grau de dissociação da água aumenta com a temperatura. Então, as condições de ambiente no extractor serão:

1) atmosfera fortemente impregnada de humidade com menos oxigénio e dióxido de carbono que a atmosfera normal;

2) água de percolação mais pura do que a normal (menos N, O e CO_2), mas mais ionizada ou seja ácida (menor pH) e mais quente do que a água normal das chuvas.

Na realidade, o ambiente que se caracterizou corresponde a um *clima hipertropical*, ou seja um clima quente e húmido, com chuva abundante e atmosfera muito húmida (estação húmida) e períodos secos, com temperatura não descendo aquém dos 20 - 25°C (estação seca).

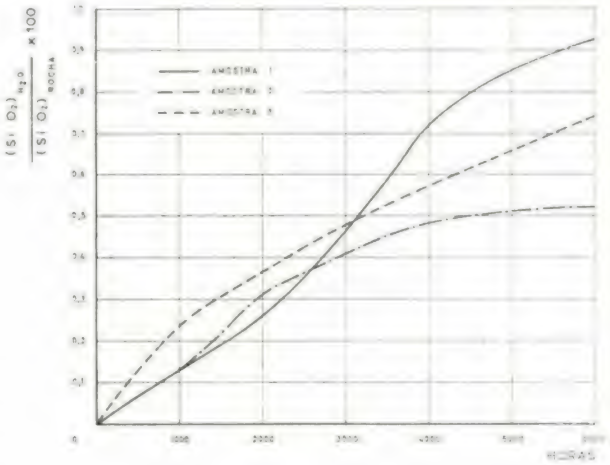
III — ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GRANULARIDADE NA MOBILIDADE QUÍMICA

Embora se possuam dezenas de extractores de Soxhlet, com ou sem «zona estagnada», ensaiando vários tipos de rochas ígneas e seus minerais essenciais e acidentais principais e ainda tarolos de geometria definida, vamos circunscrevermo-nos ao estudo da influência da granularidade na mobilidade química.

Elegeu-se um tipo de rocha — o sienito nefelínico — e três tipos estruturais: grão grosseiro, grão médio e grão fino. Em extractores perfeitamente iguais, funcionando em condições idênticas e partindo de água com os mesmos potencial de hidrogénio e resistividade eléctrica, submeteram-se os três tipos estruturais do sienito nefelínico a ciclos de lixiviação que totalizaram 6000 horas.

No Quadro I figuram as análises químicas das rochas sãs, bem como os valores da sílica, alumina, cal e álcalis mobilizados e transportados para a bacia de recepção (balão).

A partir dos valores analíticos do Quadro I construiram-se as curvas das Figs. 2 e 3 que vão permitir tirar algumas conclusões que parecem de interesse não só para a compreensão do fenómeno de alteração, mas até para o estudo da alterabilidade das rochas. Na Fig. 4 mostra-se a variação do pH e da resistividade eléctrica em função do tempo de ensaio.



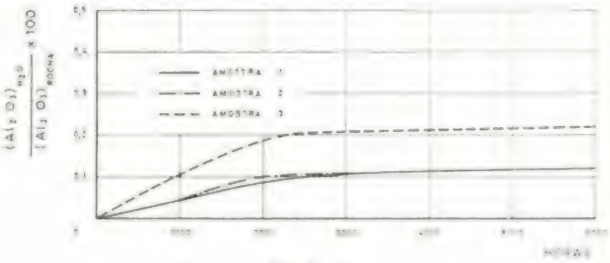
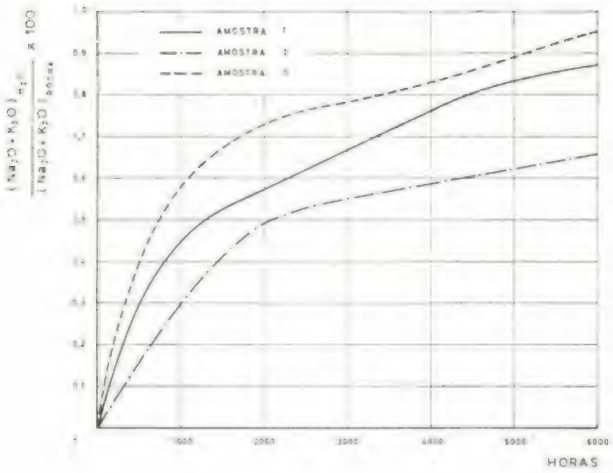


Fig. 2

Vejamos quais as principais conclusões a tirar da experimentação conduzida, com particular incidência na averiguação da influência da granularidade.

1 — É a rocha de granularidade mais fina a que liberta mais fácil e prontamente os vários elementos químicos. Apenas no que diz respeito à sílica, esta lei não se cumpre integralmente. Com efeito, durante as primeira 3000h a mobilidade da sílica é maior na rocha de menor granularidade. Nas últimas 3000h verifica-se que a mobilidade deste óxido aumenta de maneira relevante para a rocha de grão grosseiro, viajando a curva respectiva a níveis elevados (Fig. 2).



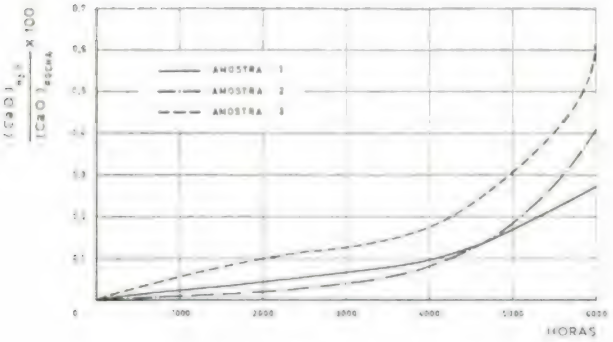


Fig. 3

2 — As curvas de variação da alumina, após o o acarreio inicial (até às 2000h), mostram andamento constante.

3 — As rochas estudadas são alcalino-sódicas, muito ricas de nefelina. No entanto, dado que os feldspatos são sodo-potássicos (o que explica os valores de K_2O das análises das rochas, próximos dos valores de Na_2O), verifica-se uma forte mobilidade da soda e perdas discretas de potassa.

4 — É na presença da nefelina que se tem de procurar a forte mobilidade do Na_2O, pois os feldspatos mostram-se bastante menos abertos à lixiviação.

5 — Entre o CaO e o K_2O, ambos provenientes dos feldspatos, assiste-se a uma exportação do óxido do cálcio em quantidade muito superior à do óxido de potássio. Isto evidencia o carácter mais aberto das estruturas dos termos cálcicos dos feldspatos presentes.

6 — As curvas de variação do pH e resistividade eléctrica em função do tempo de ensaio, corroboram, nas linhas gerais, o que se tem dito a respeito da mobilidade química. Assim, as rochas que mostram mais rápida subida de pH e queda da resistividade eléctrica, consequentemente maior mobilidade química, são a de grão fino, depois a de grão grosseiro e em último lugar a de grão médio.

7 — Quanto à influência da granularidade sobre a mobilidade química, verifica-se que:

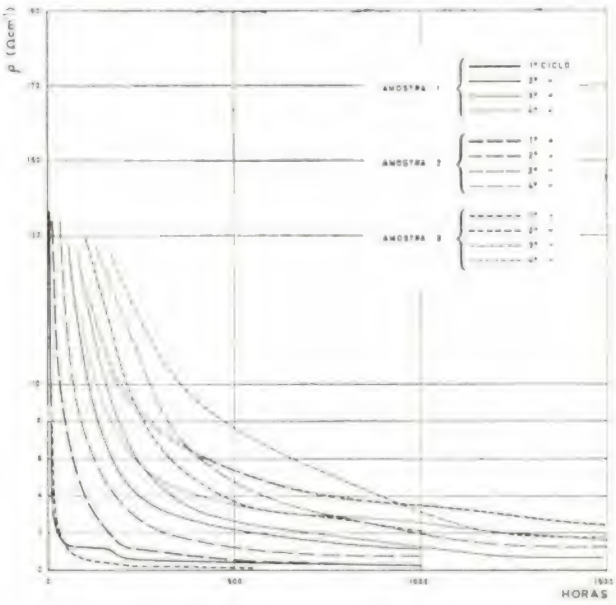
7.1 — A rocha de grão mais fino é a mais atacável, pois apresenta maior quantidade de limites de grão por unidade de volume.

7.2 — A rocha de grão muito grosseiro, bastante microfissurado, liberta mais fàcilmente catiões do que a rocha de grão médio, muito coesa.

7.3 — Cremos ser na microfissuração que se deve procurar a explicação para a contradição aparente entre o que se diz nas duas alíneas anteriores. Com efeito, embora a rocha de grão médio tenha maior superfície de grão exposta por unidade de volume, a rocha de grão grosseiro, devido à fissuração, sobreleva aquele factor. Esta hipótese é corroborada pela perda de peso de material durante o ensaio de 6000h. Os valores encontrados foram:

		%
% Δ p —	rocha de grão fino	1,18
	» » » médio	0,49
	» » » grosseiro	13,29

7.4 — A partir das curvas das perdas de CaO, SiO_2 e álcalis, podem calcular-se as mobilidades relativas de modo a procurar seriar a aptidão à perda quí-



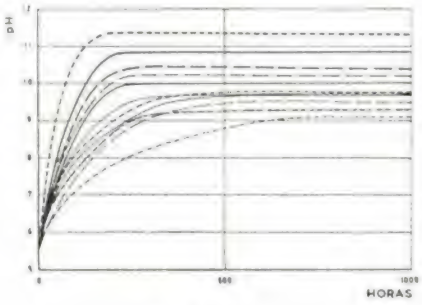


Fig. 4

mica por dissolução. Assim, tomando 1 para a totalidade daqueles óxidos mobilizados da rocha de grão médio será:

rocha de grão	grosseiro	(Am. 1)	— 1,6
» » »	médio	(Am. 2)	— 1,0
» » »	fino	(Am. 3)	— 3,1

Diremos então que a rocha Am. 1 tem mobilidade química 1,6 vezes superior à rocha Am.2 e que a rocha de grão fino (Am. 3) tem mobilidade química 3,1 superior à Am. 2.

7.5 — Adaptando a expressão do índice de alterabilidade apresentada para se aplicar usando o cálculo modal micropetrográfico (AIRES - BARROS, 1970). ter-se-á:

$$K' = K'min - g_j \; K'min$$

se:

$K'_{min} = K_{qui}$ (factor de mobilidade química)
g_j (factor de fissuração)

e se tomarmos para K_{qui} os factores de mobilidade química referidos em 7.4 e para g_j as perdas de peso que aferem o estado de fissuração teremos:

$$K'_{Am1} \simeq -20$$
$$K'_{Am2} \simeq 0,5$$
$$K'_{Am3} \simeq -0,6$$

O estudo da influência da textura na previsão da alterabilidade é complexo e o presente estudo não é mais do que uma primeira contribuição.

A intervenção do factor de fissuração utilizado é susceptível de melhor ajustamento com a intervenção da micropetrografia quantitativa.

O estudo agora tornado público alongou-se por cerca de 3 anos de trabalho laboratorial, dado o tempo necessário para o «envelhecimento» das rochas sem se abandonar demasiado as condições exógenas naturais. Deste modo parece razoável tornar, desde já, conhecidos os resultados obtidos e a linha de investigação que se está seguindo.

BIBLIOGRAFIA

AIRES - BARROS, L. (1970) — Note préliminaire sur un indice d'altérabilité Ist *Int. Congr. Ass. Engineering* GEOLOGY t.I. pp. 573 - 577.

AIRES-BARROS, L. & GRAÇA, R. C. (1971 a) — Laboratory test on cyclic «closed circuit» percolation of rocks *Técnica*, n.° 408, pp. 417 - 422.

AIRES - BARROS, L. & GRAÇA, R. C. (1971 b) — Test on accelerate abrasion and chemical mobilization of rocks *Bull. Inst. Ass. Engineering Geology* n.° 3, pp. 52 - 68.

CORRENS, C. W. (1961) — The experimental chemical weathering of silicates *Clay Minerals Bull.* vol. 4, n.° 26, pp. 249-265.

KELLER, W. D. BALGORD, W. D. & REESMAN, A. L. (1963) — Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks: part: I J. SEDIM PETR. vol. pp. 191 - 204.

KELLER, W. D. & REESMAN, A. L. (1963) — Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks: part II *J. Sedim Petr.* vol. 33. pp. 426 - 437.

PEDRO, G. (1964) — Contribution a l'étude expérimentale de l'altération géochimie des roches cristallines ANNLS. AGRON. vol. 15, 345 p.

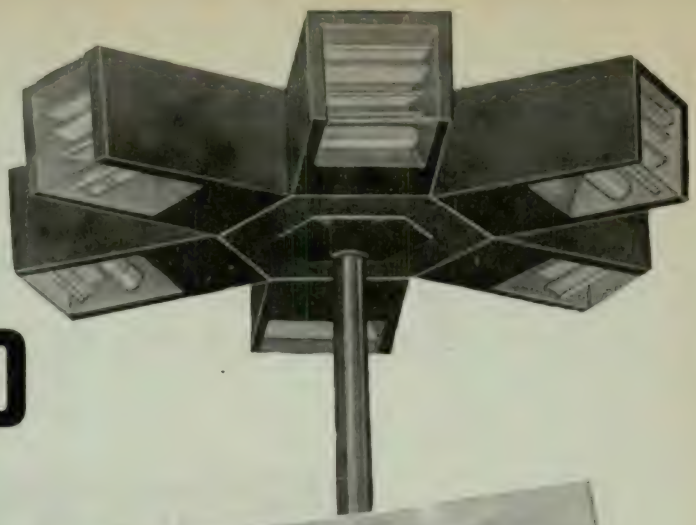
QUADRO 1 (*)

	SIENITO NEFELÍNICO DE GRÃO GROSSEIRO (Amostra 1)					SIENITO NEFELÍNICO DE GRÃO MÉDIO (Amostra 2)					SIENITO NEFELÍNICO DE GRÃO FINO (Amostra 3)				
	Rocha sã %	Águas de percolação (%)				Rocha sã %	Águas de percolação (%)				Rocha sã %	Águas de percolação (%)			
		1000 h 1.º ciclo	2000 h 2.º ciclo	4000 h 3.º ciclo	6000 h 4.º ciclo		1000 h 1.º ciclo	2000 h 2.º ciclo	4000 h 3.º ciclo	6000 h 4.º ciclo		1000 h 1.º ciclo	2000 h 2.º ciclo	4000 h 3.º ciclo	6000 h 4.º ciclo
SiO_2	52,29	0,0710	0,0710	0,2384	0,1060	58,93	0,0780	0,1050	0,1036	0,0230	55,33	0,1350	0,0650	0,1088	0,0990
Al_2O_3	22,06	0,0096	0,0106	0,0053	0,0015	18,79	0,0075	0,0117	0,0025	0,0010	20,14	0,0202	0,0185	0,0038	0,0017
Fe_2O_3	1,61	—	—	—	—	1,54	—	—	—	—	1,59	—	—	—	—
FeO	0,84	—	—	—	—	0,66	—	—	—	—	0,79	—	—	—	—
MgO	1,18	—	—	—	—	0,02	—	—	—	—	1,58	—	—	—	—
CaO	2,40	0,0006	0,0005	0,0011	0,0040	2,20	0,0003	0,0005	0,0013	0,0071	1,90	0,0009	0,0009	0,0015	0,0088
Na_2O	8,31	0,0660	0,0160	0,0250	0,0140	7,60	0,0410	0,0230	0,0130	0,0090	8,37	0,0880	0,0220	0,0150	0,0150
K_2O	6,60	0,0010	0,0017	0,0030	0,0020	6,60	0,0020	0,0030	0,0016	0,0010	7,29	0,0020	0,0020	0,0010	0,0030
TiO_2	0,76	—	—	—	—	0,72	—	—	—	—	0,68	—	—	—	—
P_2O_5	0,71	—	—	—	—	0,53	—	—	—	—	0,34	—	—	—	—
MnO	0,11	—	—	—	—	0,24	—	—	—	—	0,09	—	—	—	—
H_2O^+	2,07	—	—	—	—	1,28	—	—	—	—	1,50	—	—	—	—
H_2O^-	1,07	—	—	—	—	0,62	—	—	—	—	0,61	—	—	—	—
	100,01					99,73					100,21				

(*) Análises químicas de R. C. Graça

PORTO-1972

NOVA ILUMINAÇÃO



MIRA-146

SCHRÉDER, SARL

PROJECTO E FABRICO DOS CONJUNTOS INTEGRADOS DE ARMADURAS

PHILIPS PORTUGUESA, SARL	VERTICAL, LDA.
LÂMPADAS HPI/T 1000 WATT E RESPECTIVOS ACESSÓRIOS	COLUNAS METÁLICAS CONCRETE UTILITIES, INGLATERRA

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C. P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C. P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C. P. 1002 - Tel. 71 4 97

C. D. U. 620.17:624.073:12

RESPOSTA ELÁSTICA DUMA LAJE CIRCULAR

MANUEL AMÉRICO GONÇALVES DA SILVA
Secção de Matemática, Un. Luanda

1 — INTRODUÇÃO

O objectivo da presente investigação é o de comparar várias teorias de análise da resposta elástica de lajes usando como modelo uma laje circular, uniformemente carregada e encastrada nos bordos.

O assunto foi já objecto duma publicação em co-autoria (1) e aqui apresenta-se uma formulação mais pormenorizada com aspectos não publicados anteriormente. Parte da pesquisa exige o recurso a equações integrais, ramo da matemática pouco divulgado entre engenheiros pelo que se tenta abordar essa secção da análise por forma a facilitar a apreensão dos passos principais.

As hipóteses em que assenta a teoria das lajes frequentemente utilizada em aplicações de engenharia e válida para pequenas deformações em comparação com a espessura exigem e. g. que a laje seja fundamentalmente um corpo bidimensional, isto é, que as suas dimensões no plano normal às cargas excedam largamente a espessura e que as condições de suporte dos bordos sejam exprimíveis em função de resultante das tensões e de deslocamentos prescritos ao nível da linha neutra do contorno (2).

A teoria elementar e suas várias correcções para incluir efeitos dos esforços transversos não carece de discussão. Já a teoria generalizada por forma a incluir as deformações de corte proposta por Eric Reissner (3, 4, 5) merece referência. Bàsicamente Reissner admite que as componentes σ_{xx}, σ_{yy} e σ_{xy} do tensor das tensões variam linearmente com a distância a partir da superfície neutra da laje; com base nessa proposição é-se finalmente conduzido a duas equações diferenciais, uma de quarta e outra de segunda ordem, que incorporam os efeitos de corte e a que se associam três condições e contorno o que permite eliminar algumas das «contradições» da teoria mais elementar. Este método é aconselhável para lajes que não se possam chamar de «pequena espessura», conceito para cuja quantificação este estudo contribui.

A teoria da elasticidade fornece soluções em que as condições fronteiras são aproximadas e que incluem as distorções e. g. como descrito por Love (6) e Timoshenko e Goodier (7) e o método proposto pelos últimos autores é aplicado neste estudo na secção 2.

Comum a todas essas técnicas e formulações é o facto de estudarem sistemas de dimensões finitas e restringirem a aplicação das condições de suporte dos bordos à linha neutra do contorno. Na prática a laje é constrita por um outro sistema físico, chame-se-lhe fundação, o qual não actua apenas na linha neutra e tem dimensões que não são passívei de definição absoluta.

Uma aproximação mais plausível, limitada ainda pelas hipóteses da teoria da elasticidade clássica, consegue-se atribuindo à laje dimensões planas ilimitadas e considerando as restrições impostas por fundação rígida para $r > R$.

As forças exteriores de carga escolhidas distribuem-se uniforme e antissimètricamente nas faces superior e inferior. A geometria do sistema e o carregamento mostram-se na Fig. 1.

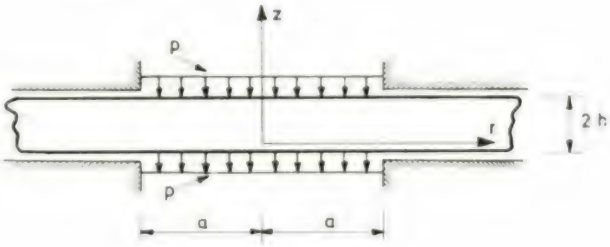


Fig. 1

Anote-se que a extensão do termo independente de força externa para carga axissimétrica geral é imediata e que um carregamento sem características de simetria não poria qualquer dificuldade conceptual extra.

2 — TEORIA DAS LAJES

As hipóteses conducentes à aproximação de engenharia referida em geral por teoria das lajes são fàcilmente localizáveis na literatura em livros de texto, e. g. em Timoshenko e Woinowsky-Krieger (2). O problema reduz-se analiticamente a resolver a equação:

$$D \nabla^4 W = q \qquad [1]$$

subordinada às condições de contorno pertinentes, sendo D a rigidez unitária à flexão, ∇ o operador bi-harmónico, W o deslocamento vertical da superfície média e q a função que traduz a presença das forças externas. No sistema em estudo obtém-se a configuração

$$W = \frac{q}{64\,D}\,(R^2 - r^2) \qquad [2]$$

3 — TEORIA DA ELASTICIDADE — 1.ª aproximação

Referidas as limitações maiores da teoria das lajes, em particular na questão das deformações devidas aos esforços cortantes e na dos efeitos locais de suporte nos bordos encastrados, apresenta-se agora a solução baseada na teoria da elasticidade e na hipótese de que o raio R da laje é bem definido.

As condições limite nas faces exprimem-se:

$$\sigma_{zz} = \pm p \qquad z = \pm h \qquad [3]$$

$$\sigma_{rz} = 0 \qquad z = \pm h \qquad [4]$$

em que h é a semi-espessura do sistema.

A fixidez nos bordos será aproximada de dois modos distintos:

$$\frac{\partial w}{\partial r} = 0 \qquad r = R,\ Z = 0 \qquad [5]$$

ou

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0 \qquad r = R,\ Z = 0 \qquad [6]$$

Designando a função tensão por S e mantendo no demais essencialmente a notação de Timoshenko e Goodier (7), recorda-se que o problema assim encarado é redutível a uma equação de Legendre. Considerações simples permitem a escolha apropriada de polinómios de Legendre do quarto e do sexto grau que satisfazem as equações [3] e [4]:

$$S = 1/3\, a_6 (16z^6 - 120z^4 r^2 + 90z^2 r^4 - 5r^6)$$
$$b_6 (8z^6 - 16z^4 r^2 - 21z^2 r^4 + 3r^6) +$$
$$+ a_4 (8z^4 - 24r^2 z^2 + 3r^4) +$$
$$+ d [56 (2 - \nu) z^4 + 168 (\nu - 1) r^2 z^2 - 21 \nu r^4] \qquad [7]$$

com

$$h\, a_4 = -(11/1408)\, p \qquad [8]$$

$$h^3\, a_6 = [(1.8 - 1.1\, \nu)/1408]\, p \qquad [9]$$

$$h^3\, b_6 = (1/1408)\, p \qquad [10]$$

Os deslocamentos u e w exprimem-se em função de S e de constantes elásticas:

$$E\, u = -(1 + \nu)\, \partial^2 S / \partial r\, \partial z \qquad [11]$$

$$E\, w = 2 (1 - \nu^2)\, \nabla^2 S - (1 + \nu)\, \partial^2 S / \partial z^2 + a \qquad [12]$$

em que a é uma constante determinável pelo requisito de deslocamento vertical nulo no controno r = R, z = 0.

A condição de declive nulo em (R, 0) conduz à determinação da constante d e ao resultado

$$\frac{D\, W(0,0)}{p\, R^4} = [.0366 + .906\, (h/R)^2] \qquad [13]$$

enquanto a exigência alternativa de manutenção da verticalidade das fibras verticais em (R,0) fornece

$$\frac{D\, W(0,0)}{p\, R^4} = [.0366 + .965\, (h/R)^2] \qquad [14]$$

expressões que permitem comparação posterior com resultados doutras teorias para diversoso valores de (h/R).

Da própria análise se deduz que a «fixidez» dos bordos da laje não está ainda rigorosamente representada. Os efeitos da constrição nos apoios exigem pois um estudo mais exacto que é apreciável desde o advento de computadores digitais de alta velocidade. É desse estudo que trata a secção seguinte.

4 — TEORIA DA ELASTICIDADE — formulação por equação integral

Considere-se o sistema como descrito na Fig. 1 e observar-se que a simetria geométrica e hemissimetria das forças implica que ao plano médio corresponda a superfície neutra. A zona de encastramento está impedida de deflecção vertical e nela as tensões tangenciais são nulas.

Das próprias observações feitas no parágrafo precedente se conclui que o sistema é equivalente ao representado na Fig. 2 que é o escolhido para a formulação analítica.

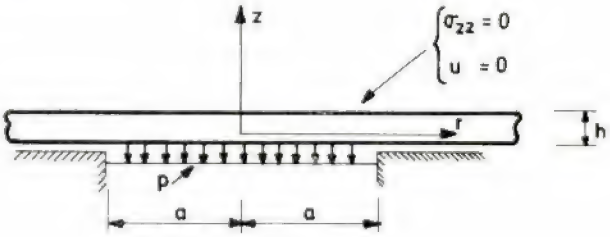


Fig. 2

As equações de campo de Navier não

$$\mu\, \nabla^2 u + (\lambda + \mu)\, \nabla (\nabla \cdot u) = 0 \qquad [15]$$

em que λ,μ são as constantes de Lamé e u=(u, 0,W) representa o deslocamento causado pelas forças uniformemente distribuidas..

As condições fronteiras imposta são:

$$\sigma_{rz} = 0 \qquad z = 0, \quad r > 0 \qquad [16]$$
$$u = 0 \qquad z = h, \quad r > 0 \qquad [17]$$
$$\sigma_{zz} = 0 \qquad z = h, \quad r > 0 \qquad [18]$$
$$w = 0 \qquad z = 0, \quad r > R \qquad [19]$$
$$\sigma_{zz} = p \qquad z = 0, \quad r > R \qquad [20]$$

4.1 — *Teoria do potencial e problemas mistos*

Na teoria clássica da elasticidade muitos problemas podem ser formulados em termos de funções harmó-

nicas desde que o vector deslocamento seja representado adequadamente. No caso presente as incógnitas de interesse podem exprimir-se em termos das funções F_1 e F_2, harmónicas, de argumentos ϱ e ζ, definidos por $\varrho = r/R$ e $\zeta = Z/R$.

Dividindo os elementos do tensor das tensões por μ e os deslocamentos por h a fim de adimensionalizar a análise e designando as novas quantidades pelos símbolos originais com barra (e. g. $\bar{u} = u/h$) obtém-se

$$2\bar{u} = \bar{h}\frac{\partial F_1}{\partial \varrho} + \zeta\frac{\partial F_2}{\partial \varrho} \qquad [21]$$

$$2\bar{w} = \bar{h}\frac{\partial F_1}{\partial \varrho_2} + \zeta\frac{\partial F_2}{\partial \zeta} - (3-4\nu)F_2 \qquad [22]$$

$$\bar{\sigma}_{rz} = \bar{h}^2\frac{\partial^2 F_1}{\partial \varrho\,\partial \zeta} + \bar{h}\zeta\frac{\partial^2 F_2}{\partial \varrho\,\partial \zeta} - (1-2\nu)\bar{h}\frac{\partial F_2}{\partial \varrho} \qquad [23]$$

$$\bar{\sigma}_{zz} = \bar{h}^2\frac{\partial^2 F_1}{\partial \zeta^2} + \bar{h}\zeta\frac{\partial^2 F_2}{\partial \zeta^2} - 2(1-\nu)\bar{h}\frac{\partial F_2}{\partial \zeta} \qquad [24]$$

$$\sigma_{rr} = \bar{h}^2\frac{\partial^2 F_1}{\partial \varrho^2} + \bar{h}\zeta\frac{\partial^2 F_2}{\partial \varrho^2} - 2\nu\bar{h}\frac{\partial F_2}{\partial \zeta} \qquad [25]$$

em que ν é o coeficiente de Poisson.

É de observar que o problema acima é do tipo misto dado que há condições de deslocamento e de equilíbrio na fronteira ou, se se preferir, o tipo de problema associado da teoria de potencial não é «uniforme» como são os de Dirichlet ou de Neumann.

4.2 — *Equações integrais duais*

As funções F_1 e F_2 são adequadamente substituídas pela sua representação integral em termos de funções incógnitas A(x), B(x), C(x), D(x), usando as relações seguintes:

$$F_1(\varrho,\zeta) = \int_0^\infty 1/\bar{h}\,[A(x)\,\mathrm{ch}\,x\zeta + B(x)\,\mathrm{sh}\,x\zeta]\,J_0(x\varrho)\,dx \qquad [26]$$

$$F_2(\varrho,\zeta) = \int_0^\infty [C(x)\,\mathrm{ch}\,x\zeta + D(x)\,\mathrm{sh}\,x\zeta]\,J_0(x\varrho)\,dx \qquad [27]$$

em que J_0 representa a função de Bessel de ordem zero na notação de Abramowitz et al (8) que se segue neste estudo.

Atendendo às condições expressas por [16, 17, 18] e às propriedades das funções de Bessel obtém-se

$$A(x) = -\left[(1-2\nu)\,\mathrm{th}\,x\bar{h} + \frac{x\bar{h}}{\mathrm{ch}^2\,x\bar{h}}\right]\frac{C(x)}{x} \qquad [28]$$

$$B(x) = (1-2\nu)\frac{C(x)}{x} \qquad [29]$$

$$D(x) = -\mathrm{th}\,(x\bar{h})\,C(x) \qquad [30]$$

A condição fronteira [19] determina

$$\int_0^\infty C(x)\,J_0(x)\,dx = 0 \qquad \varrho > 1 \qquad [31]$$

enquanto a condição [20], conjugada com [30], oferece

$$\int_0^\infty \left(\mathrm{th}\,x\bar{h} - \frac{x\bar{h}}{\mathrm{ch}^2\,x\bar{h}}\right) x\,C(x)\,J_0(x\varrho)\,dx = \bar{p}, \varrho < 1 \qquad [32]$$

em que $\bar{p} = p/\mu\bar{h}$.

Foi-se assim conduzido a um par de equações [31], [32] integrais duais. Equações deste tipo têm sido estudadas com insistência em anos recentes e seguir-se-á o método de solução proposto por Sneddon ((9), pg. 76). Escolha-se

$$C(x) = \int_0^1 G(t)\,\mathrm{sen}\,xt\,dt,\ G(0) = 0 \qquad [33]$$

o que satisfaz imediatamente [31].

A utilização das identidades

$$\int_0^\infty J_0(by)\cos a\,dy = \begin{cases} 0 & (0 < b \leqslant a) \\ (b^2-a^2)^{-1/2} & (b > a) \end{cases} \qquad [34]$$

$$\int_0^t y\,(t^2-y^2)^{-1/2}\,J_0(xy)\,dy = (\mathrm{sen}\,xt)/t \qquad [35]$$

em conjugação com [33] conduz, após apropriada troca da ordem de integração e partição do domínio de integração, a uma equação integral de Fredholm da 2.ª espécie:

$$G(t) - \int_0^1 G(y)\,K(y,t)\,dy = t \qquad 0 < t \leqslant 1 \qquad [36]$$

de núcleo

$$K(y,t) = 2/\pi\bar{h}\int_0^\infty \frac{x + e^{-x}\,\mathrm{ch}\,x}{\mathrm{ch}^2\,x}\,\mathrm{sen}\frac{xy}{\bar{h}}\,\mathrm{sen}\frac{xt}{\bar{h}}\,dx \qquad [37]$$

4.3 — *Quantidades de interesse prático*

Do ponto de vista analítico as expressões [36] e [37] solucionam o problema, podendo exprimir-se as várias quantidades de interesse em dependência estrita de G(t). Por exemplo, o deslocamento adimensional $W_1 = W/R$ encontra-se sob forma simplificada fazendo uso intermédio da identidade.

$$\int_0^\infty J_0(at)\,\mathrm{sen}\,bt\,dt = \begin{cases} 0 & (b < a) \\ (b^2-a^2)^{-1/2} & (b > a) \end{cases}$$

obtendo-se

$$W_1 = \frac{2}{\pi}(\nu-1)\frac{p}{\mu}\int_\varrho^1 G(t)\,(t^2-\varrho^2)^{-1/2}\,dt, \qquad [38]$$

$$0 < \varrho \leqslant 1 \qquad [39]$$

Anàlogamente se pode estabelecer o valor de

$$\sigma_1^z = -\frac{\pi}{2}\frac{\sigma_{zz}(\xi, 0)}{p} \quad (\xi > 1) \quad \text{que resulta}$$

$$\sigma_1^z = -G(1)\,(\xi^2-1)^{-1/2} - \int_0^1 \frac{dG}{dt}(\xi^2-t^2)^{-1/2}dt + \frac{1}{\bar{h}^2}\int_0^\infty x\left(\frac{e^{-x}\,\mathrm{ch}\,x}{\mathrm{ch}^2 x}\right)\int_0^1 \mathrm{sen}\frac{xt}{\bar{h}}\,G(t)\,dt\,J_0\left(\frac{x\xi}{\bar{h}}\right)dx \qquad [40]$$

A obtenção de tensões em pontos interiores é mais difícil e muito trabalhosa e apenas se mostra a expressão calculada para σ_1^r.

$$\sigma_1^r = \frac{\pi}{2}\frac{\sigma_{rr}(\xi,\zeta)}{p} = \int_0^1 G(t)\left[-(1-2\nu)L_1 - \zeta L_2 - L_3 - \zeta L_4\right]dt +$$

$$+\xi^{-1}\int_0^\infty C(x)\left[\left((1-2\nu)\,\mathrm{ch}\,x\zeta + x\zeta\,\mathrm{sh}\,x\zeta\right)(1-\mathrm{th}\,x\bar{h}) - \frac{x\bar{h}\,\mathrm{ch}\,x\zeta}{\mathrm{ch}^2\,x\bar{h}}\right]J_1(x\xi)\,dx$$

$$-\int_0^\infty C(x)\left[-(\mathrm{ch}\,x\zeta + x\zeta\,\mathrm{sh}\,x\zeta)(1-\mathrm{th}\,x\bar{h}) + \frac{x\bar{h}\,\mathrm{ch}\,x\zeta}{\mathrm{ch}^2\,x\bar{h}}\right]J_0(x\xi)\,dx \qquad [41]$$

em que

$$L_1 = \int_0^\infty \mathrm{sen}\,yt\,e^{-y\zeta}\frac{1}{\xi}J_1(y\xi)\,dy =$$

$$= \frac{(\zeta^2+t^2)^{1/2}/2}{(\xi^2+\zeta^2-t^2)^2+4\zeta^2t^2}\,\mathrm{sen}\left(\Theta - \frac{1}{2}\Phi\right) \qquad [42]$$

$$L_2 = \int_0^\infty y\,\mathrm{sen}\,yt\,e^{-y\zeta}\frac{1}{\xi}J_1(y\xi)\,dy =$$

$$\frac{\mathrm{sen}\,(3/2\,\Phi)}{(\xi^2+\zeta^2-t^2)^2+4\zeta^2t^2)^{3/4}} \qquad [43]$$

$$L_3 = \int_0^\infty y\,\mathrm{sen}\,yt\,e^{-y\zeta}y_0(J\xi)\,dy =$$

$$= \frac{(\zeta^2+t^2)^{1/2}}{(\xi^2+\zeta^2-t^2)^2+4\zeta^2t^2)^{3/4}}\left(\mathrm{sen}\,\frac{3}{2}\Phi - \Theta\right) \qquad [44]$$

$$L_4 = \int_0^\infty y^2\,\mathrm{sen}\,yt\,e^{-y\zeta}J_0(y\xi)\,dy =$$

$$= \frac{(2\zeta^2-\xi^2-2t^2)^2-16\zeta^2t^2)^{1/2}}{(\xi^2+\zeta^2-t^2)^2+4\zeta^2t^2)^{5/4}}\,\mathrm{sen}\left(\frac{5}{2}\Phi - \beta\right) \qquad [45]$$

em que

$$\Theta = \mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{t}{\zeta}\right) \qquad [46]$$

$$\Phi = \mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{2\zeta t}{\xi^2+\zeta^2-t^2}\right) \qquad [47]$$

$$\beta = \mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{4\zeta t}{2\zeta^2-\xi^2-2t^2}\right) \qquad [48]$$

As espressões para L_1 e L_3 são devidas a Sneddon (10), L_2 foi publicada por Westmann (11) e L_4 será deduzida em Apêndice.

5 — RESULTADOS NUMÉRICOS E CONCLUSÕES

A solução numérica do problema reside na obtenção da função G (t) e o método seguido consistiu em discretizar a função em 30 pontos e utilizar a regra do trapézio para aproximar a quadratura [36].

Os cáculos numéricos foram realizados a partir dum terminal UNIVAC 9200 ligado ao UNIVAC 1108 do Centro de Cálculo da Universidade de Wisconsin. Sempre que foi preciso atribuir-lhe um valor, ν foi tomado como $\nu = 0{,}25$.

Os valores de σ_1^z acham-se descritos na Fig. 3 para vários valores de $\bar{h}$ (0.10,0.20,0.30,1.00) da espessura adimensional. A grandeza de σ_1^z cresce para além de qualquer limite com ξ aproximando o valor unitário, tendo um comportamento do tipo $(\xi^2-1)^{-1/2}$; o valor de σ_1^z anula-se em pontos suficientemente afastados, sendo de realçar o aparecimento de tracções.

O valor máximo das tracções diminui ao aumentar a espessura e a menor abcissa para que ocorre tracção aumenta com a espessura relativa.

Os coeficientes de tensão σ_1^r são apresentados por forma a mostrar a sua distribuição vertical. Na Fig. 4, correspondente a laje de espessura 0.60 do raio, nota-se que as tensões no contorno são baixas na vizinhança da superfície neutra e aumentam sùbitamente junto à face. Desta figura e das subsequentes figuras 5, 6, 7 pode concluir-se que a variação linear é tanto mais válido quão maior o afastamento dos suportes e que a curvatura do diagrama diminui com $\bar{h}$ como é lógico. Para valores baixos de $\bar{h}$ os dados numéricos requereram considerável tempo de computação e por isso não se prolongou o estudo para $\bar{h} < 0.05$ tanto mais que qualitativamente não pareceu necessário.

Comparando os (σ_1^r) dados pela teoria das lajes e os obtidos de acordo com a secção anterior, o erro re-

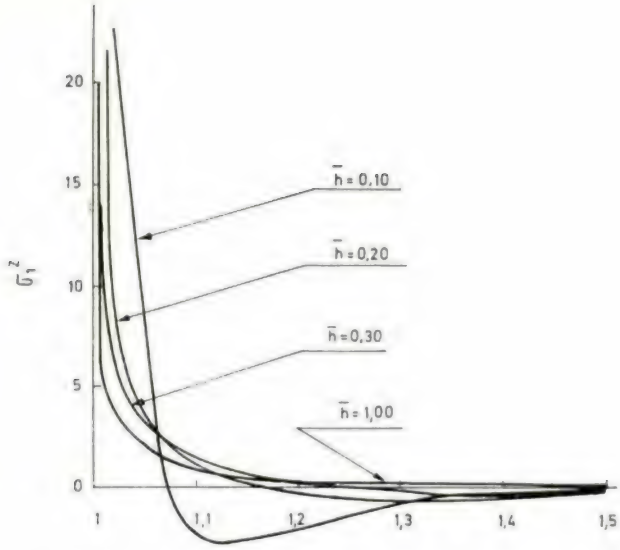


Fig. 3 — Distribuição de σ_1^z na região de encastramento.

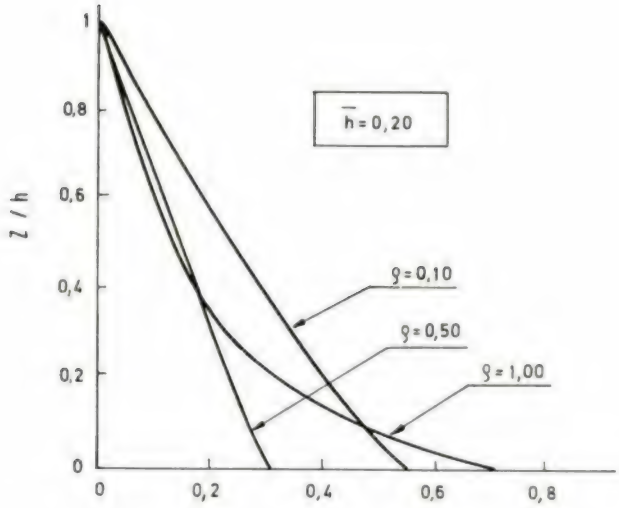


Fig. 5

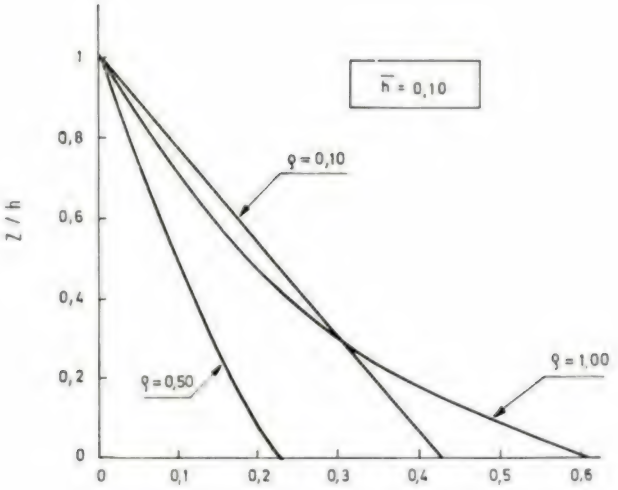


Fig. 6

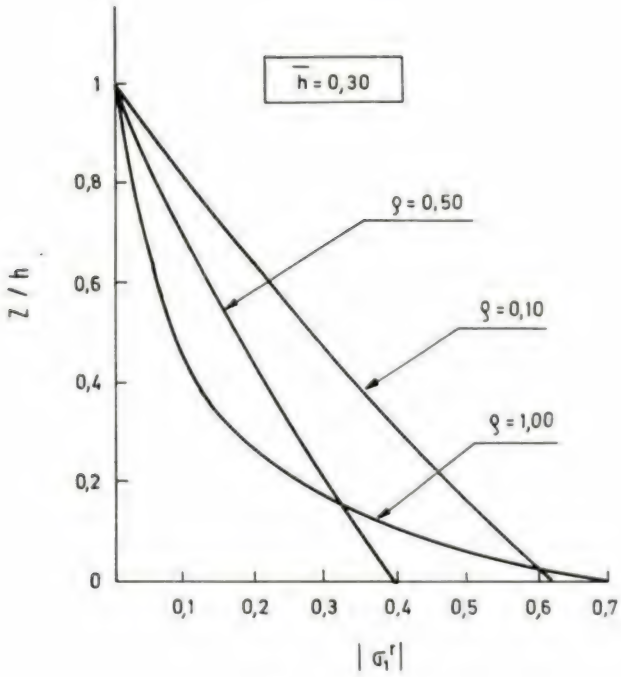


Fig. 4

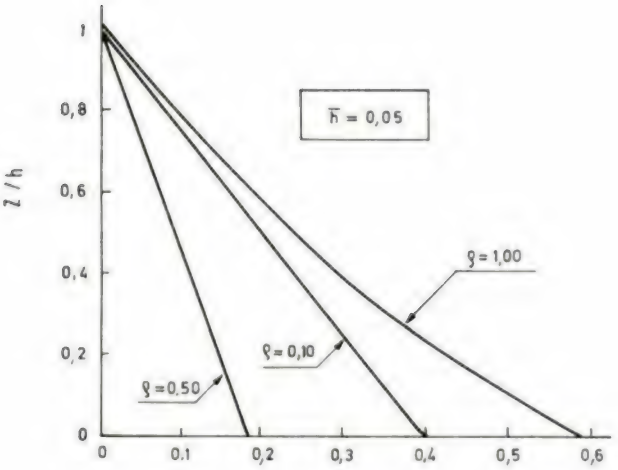


Fig. 7

lativo achado oscilou entre 1% para $\bar{h} = 0.05$ até 16% para $\bar{h} = 0{,}30$ com 6% para $\bar{h} = 0.10$.

As figuras 8, 9, 10 permitem visualizar os erros que a hipótese de variação linear, através da espessura da laje, das tensões de flexão implica. As ordenadas representam σ_1^r normalizadas por divisão pelo respectivo valor máximo e as abcissas representam o coeficiente de espessura adimensional (z/h).

A escolha das secções para $\varrho = 1.0, 0.50, 0.10$ mostra a diminuição da intensidade dos efeitos das condições de apoio com o aumento da distância das secções em relação aos suportes.

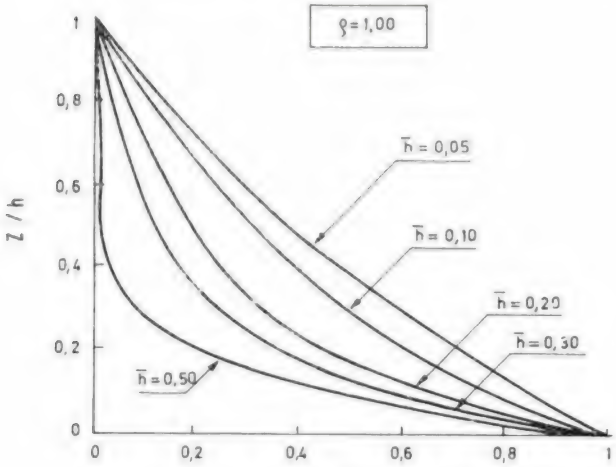


Fig. 8

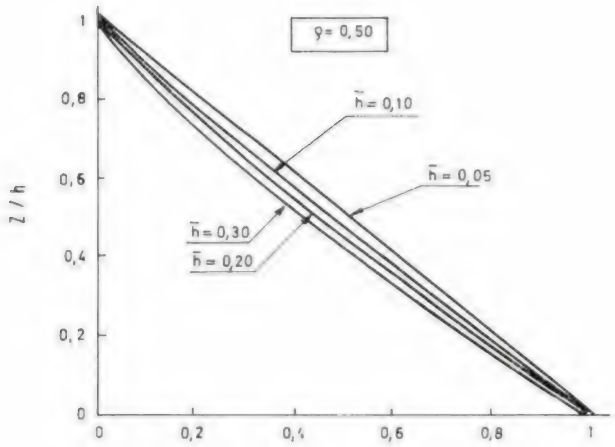


Fig. 9

A tabela I mostra, para valores da espessura adimensional 1.0, 0.6, 0.4, 0,2 e 0.1, o quociente da deflecção máxima dada pelas diversas teorias pela correspondente deflecção fornecida pela teoria desenvolvida na secção.

AGRADECIMENTO

O autor agradece à Administração da Universidade do Wisconsin (Parkside) o encorajamento constante e o acesso ao Centro de Cálculo de Madsison.

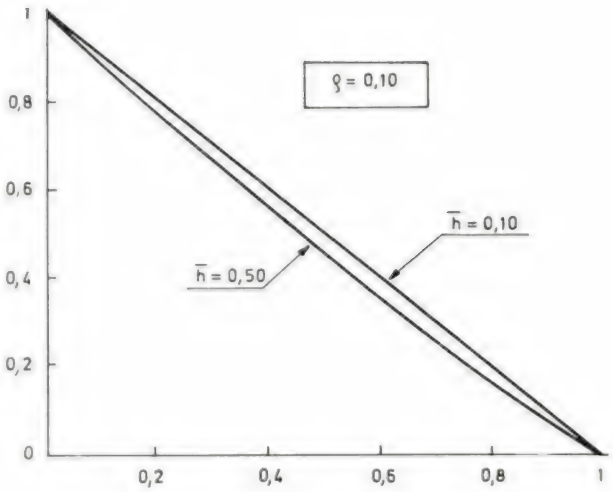


Fig. 10

Ao Prof. L. M. Keer que sugeriu o tópico de estudo, à sua supervisão e atitude de permanente abertura, ao seu auxílio real durante o trabalho, o autor não pode agradecer suficientemente.

BIBLIOGRAFIA

[1] — M. A. G. SILVA e L. M. KEER — J. Struct. Div. (ASCE), (1971).

[2] — S. P. TIMOSHENKO e WOINOWSKY - KRIEGER — *Theory of plates and Shells.* Mc Graw-Hill, (1959).

[3] — E. REISSNER — J. Math. Phys., (1944).

[4] — E. REISSNER — J. Appl. Mech., (1945).

[5] — E. REISSNER — J. Appl. Math., (1947).

[6] — A. E. H. LOVE — *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity,* (1944).

[7] — S. P. TIMOSHENKO e J. N. GOODIER — *Theory of Elasticity* Mc Graw-Hill, (1951).

[8] — M. ABRAMOWITZ e A. STEGUN — *Handbook of Mathematical Function.* Dover Publications Inc., (1965).

[9] — I. N. SNEDDON — *Mixed Boundary Value Problems in Potential Theory,* North Holland. (1966).

[10] — I. N. SNEDDON — *Fourier Transforms* Mc Graw-Hill, (1951).

[11] — R. A. WESTMANN — J. Appl. Mech., (1965).

APÊNDICE

Pretende-se obter a expressão analítica para o integral

$$I_4 = \int_0^{\infty} y^2 \operatorname{sen} yt \; e^{-y\varrho} \; J_0(y\varrho)\, dy$$

Recorrendo a (12), recorda-se que

$$I_k^l = \int_0^{\infty} x^{k-1} \operatorname{sen} x \; e^{-zx} \; J_l(rx)\, dx \qquad \text{(A - 1)}$$

é a parte imaginária do integral

$$I = \int_0^{\infty} x^{k-1} e^{-x(z-i)} J_l(rx)\, dx \qquad (A-2)$$

dado que $e^{-x(z-i)} = e^{-xz}(\cos x + i \operatorname{sen} x)$.

Para obter o integral I utiliza-se a fórmula

$$\int_0^{\infty} x^K e^{-ax} J_l(rx)\, dx$$

$$= \frac{(K-l)!}{(a^2+r^2)^{\frac{k+1}{2}}} = P_k^l \left[\frac{a}{(a^2+r^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \qquad (A-3)$$

em que P_k^l designa a função associada de Lengendre e $l \leqslant k$.

No caso em estudo, em (A − 3), é $L = 0$, $K = 2$ e P_2^0 é o próprio polinómio P_2 de Legendre. Assim sendo

$$I_3^0 = \int_0^{\infty} x^2 \operatorname{sen} x\, e^{-zx} J_o(rx)\, dx =$$

$$= \operatorname{Im} \left[\frac{2!}{(a^2+r^2)^{\frac{3}{2}}} P_2 \left[\frac{a}{(a^2+r^2)} \right] \right]_{a=z-i} \qquad (A-4)$$

Relembrando que $P(x) = 1/2\,(3x^2 - 1)$, obtém-se:

$$P_2 \left[\frac{a}{(a^2+r^2)^{\frac{1}{2}}} \right] = \frac{1}{2} \frac{2a^2 - r^2}{a^2 + r^2} \qquad (A-5)$$

e

$$I_3^0 = \operatorname{Im} \left[\frac{2a^2 - r^2}{(a^2+r^2)^{\frac{5}{2}}} \right]_{a=z-i} =$$

$$= \operatorname{Im} \left[\frac{(2z^2 - r^2 - 2) - 4iz}{(z^2 + r^2 - 1 - 2iz)^{\frac{5}{2}}} \right] = \operatorname{Im}(E) \qquad (A-6)$$

Racionalizando o denominador de E, obtém-se sucessivamente

$$E = \frac{[(2z^2 - r^2 - 2) - 4iz]\,[z^2 + r^2 - 1 + 2iz]^{5/2}}{[(r^2 + z^2 - 1)^2 + 4z^2]^{5/2}}$$

$$= \frac{[\ \ .\ \ ]\,[(r^2 + z^2 - 1)^2 + 4z^2]^{5/4}}{[\ \ .\ \ ]} e^{i(5/2)\Phi}$$

$$= [(2z^2 - r^2 - 1)^2 + 16z^2]^{1/2} e^{-i\beta} [(r^2 + z^2 - 1)^2 + 4z^2]^{-5/4} e^{i\,5\frac{\Phi}{2}} \qquad (A-7)$$

Portanto

$$I_3^0 = \frac{[(2z^2 - r^2 - 2)^2 + 16z^2]^{1/2}}{[(r^2 + z^2 - 1)^2 + 4z^2]^{5/4}} \operatorname{sen}(5/2\,\Phi - \beta) \qquad (A-8)$$

em que

$$\Phi = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{2z}{z^2 + r^2 - 1} \right) \qquad (A-9)$$

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{4z}{2z^2 - r^2 - 2} \right) \qquad (A-10)$$

A expressão para I_3^0 justifica imediatamente o valor utilizado para L_4 por mudança elementar de variáveis.

TABELA I

Deslocamentos calculados pelas diferentes teorias

$2\bar{h}$	Teoria das lajes	Eq. 13	Eq. 14
0.1	0.787	0.925	0.917
0.2	0.629	0.870	0.833
0.4	0.403	0.885	0.787
0.6	0.265	0.943	0.794
1.0	0.126	1.000	1.250

NOMENCLATURA

h = semiespessura adimensional.
$\bar{h}$ = semi-espessura adimensional.
p = carga distribuída em cada face.
q = 2p.
r = coordenada radial polar.
u = deslocamento radial.
$\bar{u}$ = deslocamento radial adimensional (u/R).
W = deslocamento vertical.
$\bar{W}$ = deslocamento vertical adimensional (W/R).
z = coordenada vertical.
D = rigidez unitária à flexção.
E = módulo de Young.
F_1 = função harmónica.
F_2 = função harmónica.
J_o = função de Bessel de ordem zero.
J_1 = função de Bessel de primeira ordem.
P_k^l = função Kl de Legendre.
P_2 = polinómio de Legendre (2.ª ordem).
S = função bi-harmónica.
λ, μ = constantes de Lamé.
ν = coeficiente de Poisson.
ρ = r/R.
σ_{ij} = tensor das tensões.
$\bar{\sigma}_{ij}$ = tensor das tensões adimensionalizado.
ζ = z/R.

FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS NO MUNDO

OBJECTIVO E PROGRAMA	LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO INFORMAÇÕES
Feira Internacional de Texteis	Frankfurt 10 - 14/1/73
Feira Internacional de Construção	Toronto Canadá 20 - 23/2 Inf: Intext Trade & Consumer Shows 952, Queen St. West Toronto 145 Canadá
Feira Internacional de Frankfurt	Frankfurt 25/2 — 1/3 de 1973
Diagnostic Testing of H. V. Power Apparatus in Service	London, 6 - 8 Março - 73 IEE Savoy Place London, WC 2R OBL Inglaterra
VI Salão Internacional de Electrónica Industrial	Basileia 6 - 10/3/73
Intherm 73 Feira Internacional de Calefação, Ar Condicionado e Protecção do Ambiente	Stuttgart, R. F. A. 7-11/3/73
Feira Internacional de Ferragens	Colónia, 9 - 11 Março 1973 Inf. Câmara de Comércio Luso Alemã, Lx.
Bauma — Exposição de Máquinas para Construção	Munique, 10 - 18/3
Colóquio sobre aplicações das constantes nucleares à ciência e à tecnologia	Paris, 12 - 16/3/73 Inf. Agência Internacional de Energia Atómica 11, Karntner Rinz BP - 590 A - 1011 Viena
VIII Jornadas do Centro de Documentação do Vidro Têxtil e dos Plásticos reforçados	Paris, 13 - 15/3/73
Satelite systems for mobile communication and surveillance	Londres, 13 - 15 Março - 73 IEE
Conferência Internacional sobre deformação e cisão de moléculas de polímeros	Londres, 26 - 29/3/73
Colóquio sobre as novidades em produtos radio farmacêuticos e compostos marcados	Copenhaga 26 - 30/3/73
Europlástica 73	Bruxelas, 31/3 a 8/4
Propagation of radio waves at frequencies abouve 10 GHz	London, 10 - 13 Abril - 73 IEE Savoy Place London. WC2R OBL Inglaterra
Humgaroplast' 73 — Exposição Internacional de Plásticos	Budapeste 11 - 16/4/73
Simpósio sobre resinas e betão	Londres, 17 - 18/4/73

VAMOS SER AINDA MAIS CONHECIDOS!

O certo é que contribuimos para que um sem número de produtos e serviços básicos vos cheguem às mãos eficientemente.

A luz eléctrica, o gás, a gasolina, os óleos, o aço, o cimento, o papel e até o próprio avião estão de certa forma ligados à nossa empresa. É que ajudamos a construir e a criar indústrias e serviços de base.

Para o grande público talvez sejamos anónimos, mas para o desenvolvimento industrial do país somos indispensáveis.
E porque servindo eficientemente o país também o servimos a si,
gostaríamos que nos conhecesse melhor.

Sabia por exemplo que construimos um bom bocado da nova Refinaria do Porto?
E doravante quando parar o seu carro numa estação de serviço e meter gasolina ou óleo...
talvez se lembre do nosso nome.

Sepsa